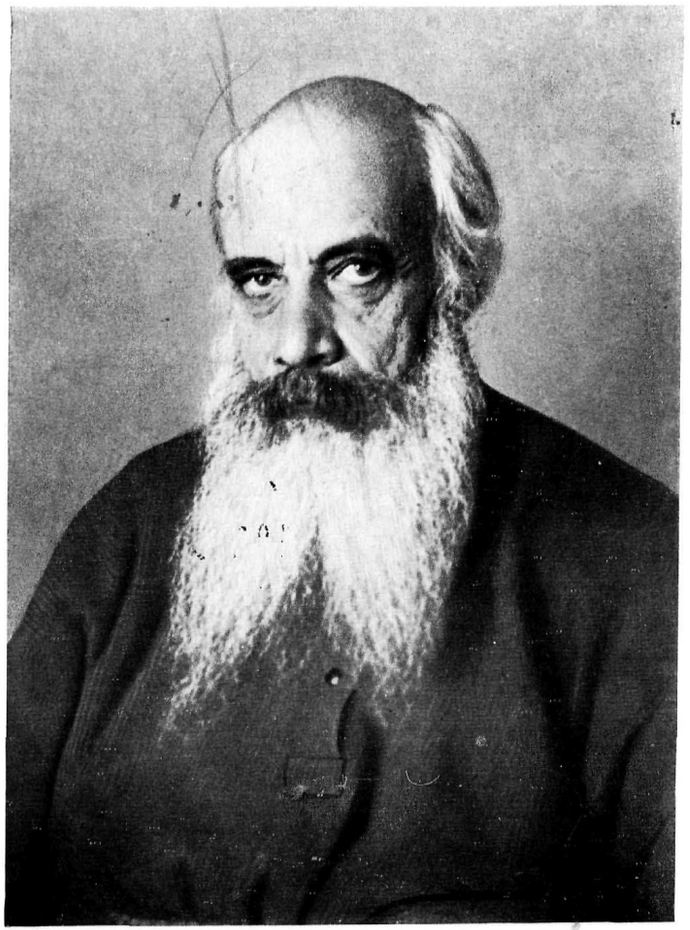




80/-11
354

АКАДЕМИЯ НАУК СССР

ОТДЕЛЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК

С 77
152

В. Е. ГРУМ-ГРЖИМАЙЛО

СОБРАНИЕ ТРУДОВ

ПОД РЕДАКЦИЕЙ
академика
И. П. БАРДИНА

ИЗДАТЕЛЬСТВО АКАДЕМИИ НАУК СССР
МОСКВА • ЛЕНИНГРАД
1 9 4 9

Государственная
ордена Ленина
БИБЛИОТЕКА СССР
им. В. И. ЛЕНИНА
49-96091
2007085813

ПРЕДИСЛОВИЕ

Владимира Ефимовича Грум-Гржимайло можно с полным основанием причислить к ряду создателей основ металлургической науки в России, наряду с такими именами, как Чернов, Аносов и другие.

Владимир Ефимович пришел в науку после долгой работы на уральских заводах, начиная от инженера-практиканта и кончая управляющим завода.

Дальнейшая его работа в качестве профессора Петербургского Политехнического института позволила ему развернуть свои способности к углубленному и оригинальному научному исследованию. Здесь он создает свою гидравлическую теорию металлургических печей и курсы производства стали и проката, которые при неизбежной их теоретической устарелости все же и до сих пор являются непревзойденными по мастерскому изложению предмета и тому захватывающему интересу, который они возбуждают у всех, изучающих предмет по этим курсам.

Будучи студентом и не зная еще лично Владимира Ефимовича, я горячо увлекался этими его курсами по производству стали и проката. Дальнейшее знакомство с его трудами и, в частности, с его оригинальной гидравлической теорией печей, впервые пролившей свет науки на этот темный до того времени вопрос, сделало очевидным, что В. Е. Грум-Гржимайло является крупнейшей величиной в области металлургии.

В годы советской власти, в качестве директора Бюро металлургических печей, он поставил проектирование печей на высокий научный уровень, где не слепая эмпирика, а физические принципы решали успех дела. Здесь он воспитывал значительные кадры советских специалистов в области металлургических печей и дал первый мощный толчок тому широкому прогрессивному движению в теории печей, которое развилось затем в нашей стране за последние два десятилетия и ушло далеко вперед от тех позиций, которые были впервые созданы Владимиром Ефимовичем.

Вся деятельность Владимира Ефимовича отличалась глубокой верой в могущество науки. За какой бы вопрос ему не приходилось браться, он начинал его разрешение с глубокого теоретического научного ана-

лиза, подкреплял и проверял его имеющимся опытом и в случае, если наука указывала новые пути, он смело их исследовал и испытывал.

Владимир Ефимович был энтузиастом русской, отечественной науки. Он верил в силы своей родной науки и постоянно предостерегал от слепого следования заграничным авторитетам, от расслабляющего действия подражания чужим, часто сомнительным образцам. Самостоятельное научное творчество всегда было его основной жизненной задачей, и этому он учил своих учеников и сотрудников.

В настоящий сборник избранных трудов В. Е. Грум-Гржимайло, выпускаемый в связи с двадцатилетием со дня смерти этого замечательного русского металлурга, помещен ряд основных его печатных работ, а также несколько статей, в том числе и ранее неопубликованные, освещающие большой педагогический и исследовательский опыт Владимира Ефимовича.

Академик И. Бардин

АВТОБИОГРАФИЯ

Я родился 12 февраля 1864 г. в Петербурге, в семье со средним достатком. Нас, детей, было шестеро; я был пятым. Я себя помню очень рано. Мой отец в июне 1867 г. был командирован в Париж на выставку и по дороге завез меня в деревню к двоюродному деду. Я отчетливо помню дорогу и многие эпизоды нашей жизни в деревне той поры. Более ранние мои воспоминания не так достоверны, но мать мне говорила, что, повидимому, я помню себя с двухлетнего возраста.

Все мои воспоминания раннего возраста относятся к лету, деревне и даче. Жизнь в Петербурге мне казалась томительной и скучной, хотя жили мы при отце в довольстве.

Мой отец, Ефим Григорьевич, умер, когда мне было ровно 6 лет. Это очень тяжелое воспоминание. Семья осталась без средств. Слезы матери с шестью ребятами на руках имели результатом мое твердое желание получить образование и стать на ноги, как можно скорее.

Учить меня начали $7^1/_2$ лет. Почему-то начали с французской грамоты. Учила меня тетка — барышня, никогда ранее никого не учившая. Тут мне пришлось испить горькую чашу. Полное отсутствие памяти в областях меня не интересующих, не действующих на мое воображение, было всегда моей характерной чертой. А тут — правила французского произношения... Море слез — вот характеристика этого периода. Просвет был тогда, когда дали русский букварь. Счастье мне улыбнулось. Потом немецкий букварь и переводы — опять слезы. Буква ять, правила русской грамматики... В заключение меня приготовили в две недели и сдали девяти лет в военную гимназию, вместе с моим братом Дмитрием, старшим меня на полтора года. Он был ниже меня ростом почти на голову, слабенький, больной собачьей старостью и хроническими поносами, от которых его вылечили только к 18 годам. Я должен был его репетировать.

Впечатление от гимназии было ужасное. Я не понимал, как надо учиться в гимназии, как готовить уроки. Навыков — никаких. И вот мы с братом заняли два последних места в классе. По счастью, инспектором был Павел Игнатьевич Рогов. Я ходил к нему просить о переводе меня в один класс с братом. Моя заботливость о здоровье брата его очень тронула, и он отнесся ко мне с большим вниманием.

Ни одного обидного слова он не сказал мне, отдавая мне рапортичку. Но горе мое было безутешно. Началась работа. Я учился сколько было сил. Учился сам, учил брата. Делая его задачи, объясняя ему, работал так, как может работать ребенок в 9 лет. Здоровье мое было слабое, головные боли меня преследовали, но я не сдавался. Медленно, шаг за шагом, я начал подниматься по списку. Каждую четверть Рогов мне говорил: «Грум работает. На следующую четверть надо подняться выше». Это была моя награда.

Мой брат Дмитрий был неспособен, безнадежен. Я просиживал с ним часами над задачей, переводом или просто уроком. Уча его, я учился мыслить. Я тащил его до шестого класса, где его оставили на второй год. Лично я занял в классе прочное место четвертого-пятого ученика и так кончил военную гимназию шестнадцати лет и четырех месяцев.

Студенческие годы — тоже преследование раз поставленной цели: скорее кончить, скорее стать на ноги. Мне дали стипендию. Эта стипендия дала мне возможность не давать уроков и все время посвящать институту. Много ли я знал, кончая Горный институт в 1885 г., имея 21 год? Мало, очень мало. Я был слаб в математике, ибо у нас практиковалась лекционная система, слаб и в строительной механике, поставленной тогда в Горном институте безобразно.

Мне нравилась профессия заводского инженера. Ф. Н. Чернышев, с которым я работал студентом на 139-м листе геологической карты, и А. П. Карпинский тащили меня на геологию. Но я уперся. Языков я не знал, книг не любил, решил, что буду работать на заводе. Я не считал себя способным быть ученым.

Мой идеал того времени — практический деятель. Я прочитал у Добролюбова, что русским писателям не удаются Штольцы («Обломов») и Тушины («Обрыв»), ибо писать не с кого. Я решил быть Штольцем и Тушиным. Политикой я не занимался.

С внешней стороны я окончил Горный институт прекрасно. Одним баллом из немецкого языка я отстал от К. К. Морена, записанного на мраморную доску; представил лучший проект и лучший журнал о практике. Совет Горного института счел неудобным дать две сторублевые премии одному студенту, и мне дали премию за проект, а К. К. Морену — за журнал. В Горном институте я почувствовал, что заводский работник из меня выйдет.

Меня пригласили на Нижне-Тагильский завод практикантом. Дали спроектировать доменку № 4 для ферромангана, а потом поручили ее выстроить и пустить. Все чертежи я сделал сам и потому получил хорошую практику. По пути выплавил литейный чугун из лебяжинской руды и улучшил литье на Нижне-Тагильском заводе. В общем, 1 год 3 месяца прожиты были на Нижне-Тагильском заводе не даром. Я много работал с полным удовлетворением.

В ноябре 1886 г. я был переведен надзирателем в Нижнюю Салду. Здесь я встретил человека, имевшего решительное влияние на мою рабо-



В. Е. Грум-Гржимайло
в школьные годы

ту. Это был большой умница и враг ходячих мнений — Константин Павлович Поленов. Скажешь ему общее место, а он тебя и разделает, и докажет, что ты повторяешь, не подумавши, глупость. Вместе с тем — это был человек большой воли, хороший хозяин. Под его влиянием я привык хорошо думать, раньше, чем делать, додумывать до конца, чтобы не сесть в лужу, когда К. П. Поленов кончит свой допрос.

Происходя от матери — большой труженицы, сделавшей всю нашу семью семьей тружеников, я, кроме того, прошел две школы, научившие меня добросовестно думать. В детстве мой брат Дмитрий своей неспособностью заставлял меня додумываться до самых основ предмета, ему разъясняемого; молодым человеком то же заставил меня делать К. П. Поленов.

Результатом была абсолютная правдивость перед собой. Я никогда не говорил себе, что я знаю что-либо, пока действительно не дознавался до самого корня предмета. Ложь перед собой — это порок 99% людей. Не понимая какого-либо явления, люди говорят готовую формулу, зная ее ложность, и на этом успокаиваются. Наша тогдашняя система учения из-под палки, спрашивания уроков, учит людей запоминать доказательства, не вникая в их сущность. Естественная неудовлетворенность и пытливость ума усыпляются догматом. Пройденная мною школа выучила мой ум всегда бодрствовать. Нерешенный вопрос оставался в моем мозгу нерешенным вопросом десятки лет. Крайне слабая память на лица, числа, на механическое запоминание чего бы то ни было, например стихотворений, и в противовес — феноменальная память на вопросы, возбудившие мое внимание и не получившие удовлетворительного объяснения,— вот мои черты. Я не могу играть в карты, ибо если я получу 13 карт, разберу их по мастям и закрою их, то не в состоянии сказать, какие карты мне были сданы. Наряду с этим я нахожу справку в книгах через десятки лет. Я полагаю, что могу воспроизвести разговор через много лет, указать, где найти нужный образец, и т. д.

Доказательства какого-либо положения систематически подбираются мною десятки лет. Я никогда ничего не записывал и ранее никогда ничего не забывал, черпая из своей памяти, как из готового магазина. Я слышал поговорку: голова не складочное место. Это справедливо. Вместимость головы имеет границы, и надо ею умело распоряжаться. Педагоги с этим мало считаются; они обременяют память пустяками, аттестуя лентяями детей, одаренных специальной памятью, наиболее ценной.

Другая особенность моего характера — скупость, скаредность ко времени. Мне всегда жаль времени. Что бы я ни делал, в уме вопрос: хорошо ли употребляю свою время? Благодаря этому, у меня нехватает характера заниматься в лабораториях, я не занимаюсь ремеслом, не играю ни в какую игру. Посетитель через полчаса болтовни делается мне в тягость. Я работаю очень интенсивно. Час непрерывной мозговой работы меня исчерпывает до конца. Я должен лечь и заснуть. Тогда я начинаю снова. Если я буду продолжать работу, несмотря на утомление, я начинаю так путать, что работа все равно никуда не будет годиться. Таким образом,

мой день проходит в смене работы и отдыха, т. е. сна. Сплю я не меньше 10 часов в день. Диван или кровать в моем кабинете столь же необходимая мебель, как и письменный стол.

Так как у меня нет никаких иных увлечений, кроме моей работы, то меня ничто от нее не отвлекает. Моя работа сделалась моим развлечением, моей радостью и наслаждением.

Окружающие меня люди удивляются моему энтузиазму при обсуждении каких-либо проблем. Мне говорят, что я юноша с седыми волосами. Это справедливо, но забывают, что видят человека, сделавшего из дела свою жизнь, свое увлечение и радость, и не разделяющего дела от личного успеха и благополучия, как делают все.

Результатом непрерывной, многолетней работы мозга, специальной памяти и наблюдательности, изощренной в определенных областях, у меня явилась та оригинальность и резкость в контурах мысли, на которую указывают лица, меня окружающие. Чем старше я становлюсь, тем с большей быстротой и легкостью я делаю нужные логические построения, тем ярче контуры высказываемых мною идей. За этими спекуляциями мысли, как наследием многолетней работы, скрывается несомненное старческое ослабление творчества мысли, малая продуктивность и, главное, трудность восприятия новых идей. Теперь я живу старым накопленным жиром, запасы которого ограничены. Но эти старческие логические спекуляции пока обманывают окружающих в отношении размеров моей трудоспособности, которая с годами падает. Думаю, что работа всех стариков именно такова, как представляется мне.

Моя автобиография представляет общественный интерес только с одной стороны: мне удалось решить вопрос, занимавший умы десятков, а может быть и сотен и тысяч, людей в продолжение 150 лет, и решить его средствами, доступными ученику 5-го класса. Я додумался до гидравлической теории печей. Со времени М. В. Ломоносова (1745 г.)[1] в этой области не было сказано ни одного разумного слова.

Как, когда я додумался до гидравлической теории? Не знаю. Крупинка за крупинкой, факт за фактом собирался у меня в мозгу ряд соображений и наблюдений. Наконец, дело прояснилось для меня совершенно, и я решил начать контрольные опыты и придумал написать руководство для контрольных испытаний, которые хотел поставить в Алапаевске. Так была написана «Элементарная теория», работая над которой, я окончательно установил понятие о гидравлическом давлении газов, основе всей теории. Приехав в Петроград, я конкретизировал задачи, для которых надо было дать математическое выражение, что сделал И. Г. Есьман. Окончательная аксиома явилась только в 1910 г., и я ей несказанно обрадовался.

Обрадовался так, что не усидел дома и побежал на радостях к А. А. Байкову. После этого пошел целый ряд местных следствий, и теория была

[1] Исключением можно считать Лукашевича. Таким образом, гидравлическая теория печей — чисто русский вклад в мировую культуру.



В. Е. Грум-Гржимайло
в студенческие годы

закончена в общем, но разрабатывается в деталях и сейчас. Итак, работа заняла время с 1887 г. по 1921 г., т. е. 34 года непрерывного труда и размышления.

«Гений есть терпение мысли»— сказал Ньютон. Он был сугубо прав. Чтобы создать что-либо, не нужно быть непременно гигантом. Муравей во времени сильнее гиганта. Я был тем муравьем, который понемногу сделал большое дело.

Какие выводы можно сделать из моей жизни? Как должны мы воспитывать своих детей? Учить детей, что дело делается какими-то гениями, под влиянием божественного вдохновения, поэтами, пророками, людьми исключительной организации, вдохновляемыми свыше,— не следует. Это — вредный, антипедагогический прием и неверно по существу. Дело делается людьми. Различные люди имеют различно развитые способности, одни в ущерб или за счет других. Каждый человек должен внимательно отнестись к своим способностям и упражнять их, работать всю жизнь в раз принятом направлении, со всей добросовестностью и всеми усилиями, на которые он способен. Из него, может быть, не выйдет поэта, большого ученого, изобретателя, но всегда выйдет заметный человек, которого будут ценить и уважать современники, он умрет счастливым, что не зарыл данного ему таланта.

Вот — секрет счастливой жизни и вот мой завет: работайте и работайте; придет время, когда вы неожиданно для себя проснетесь большим человеком, а затем спокойно встретите смерть.

ПРИМЕЧАНИЕ РЕДАКТОРА

Автобиография написана в 1921 г. по просьбе работников «Уральского общества любителей естествознания». Она была напечатана после смерти В. Е. Грум-Гржимайло в Журнале русского металлургического общества в 1929 г. (№ 1). Печатается в настоящем сборнике с незначительными редакционными исправлениями.

БЕССЕМЕРОВАНИЕ
НА НИЖНЕ-САЛДИНСКОМ ЗАВОДЕ

Настоящая статья имеет целью познакомить читателей Горного журнала с видоизменением бессемерования, имеющим место в Нижне-Салдинском заводе, Нижне-Тагильского округа, на Урале. Несмотря на довольно богатую литературу о бессемеровании, помещенную на страницах Горного журнала, о бессемеровании Нижне-Салдинского завода было писано весьма мало; краткие рецензии и случайные отзывы лиц, стоящих весьма далеко от дела, были в большинстве случаев не в пользу постановки бессемерования в Нижней Салде, что имело следствием тот печальный факт, что, несмотря на прекрасные результаты, им достигнутые, видоизменение бессемеровского процесса Нижне-Салдинского завода не только не оценено современными металлургами, но даже, напротив, самое существование его ставится как бы в упрек его основателю — управителю Нижне-Салдинского завода Константину Павловичу Поленову, положившему весьма много труда для постановки этого дела.

Между тем более близкое изучение этого способа и в особенности его теоретических оснований показывает, что он заслуживает гораздо лучшей славы, чем та, какой он пользуется. Причины такой печальной репутации этого способа кроются в истории его возникновения. Действительно, способ бессемерования, созданный в Нижне-Салдинском заводе К. П. Поленовым, не был как-либо первоначально задуман; напротив, только неудачи и трудности, которые были встречены во время установки в Нижне-Салдинском заводе *прямого* способа бессемерования, обратили внимание К. П. Поленова на весьма важный элемент в этом процессе, который совершенно игнорируется до сих пор многими знатоками бессемерования и который лег в основание названного способа в Нижне-Салдинском заводе. Я говорю о значении первоначальной температуры чугуна, до поступления его в реторту.

О возникновении самого способа рассказывают так: однажды, в одну из отражательных печей Сименса была посажена для расплавления садка серого бессемеровского чугуна; расплавлять в то время старались возможно быстрее, чтобы чугун не подвергался в печи излишнему отбеливанию и по возможности меньше терял кремния и марганца; поэтому чугун, тотчас по расплавлении, выпускался обыкновенно в котел и отвозился к реторте. В данном случае было, однако, не так: какая-то неполадка в бессемеровской фабрике не позволила выпустить своевременно чугун из печи, и он просидел в ней лишних $1^1/_2$—2 часа, пока эта неполадка не была устранена. Судя по пробам чугуна, добываемым из печи, чугун чрезвычайно быстро переходит из серого в белый, почему мастера решили

вперед, что операция из такого чугуна не сойдет и его придется разлить по изложням. Однако чугун из печи выпустили все-таки в котел, отвезли к реторте и начали продувку, ожидая ежеминутно, что операция пойдет холодная и что продувку придется прекратить. Против ожидания ничего подобного не произошло: совершенно отбелившийся в печи чугун пробессемеровался прекрасно, и ход операции был настолько горяч, что в реторту было прибавлено еще несколько рельсовых концов. Такой исход был совершенно неожиданным, и так как операции сходили тогда вообще плохо, то на этот случай было обращено внимание; тотчас же опыт был повторен с тем же успехом. Вот начало, из которого со временем развился совершенно своеобразный способ бессемерования Нижне-Салдинского завода. Дальнейшее развитие этого способа было так же эмпирично, как и его начало; раз убедившись на деле в неосновательности общих соображений металлургов относительно первенствующей роли Si в чугуне, поступающем в реторту, К. П. Поленов предоставил развиваться этому способу совершенно свободно на основании только прямых указаний опыта, не стесняя его никакими рамками и общераспространенными принципами успешного бессемерования. Результатом этого было значительное уклонение бессемерования Нижне-Салдинского завода от почитавшегося за идеальный прямого английского процесса; мало того, приемы Нижне-Салдинского завода даже как бы противоречат общераспространенной теории бессемерования, что и было причиною того, что за ними до сих пор не признаны теоретические основания.

Большинство интересующихся бессемерованием в лучшем случае мирятся с этим способом, так как спорить против фактов трудно, а результаты бессемерования в Нижне-Салдинском заводе настолько хороши, что трудно даже требовать чего-либо лучшего. Согласовать такие прекрасные результаты с кажущейся по общим отзывам нелогичностью и неуспешностью бессемерования Нижне-Салдинского завода представляется задачей, неразрешимой до тех пор, пока мы не обратимся к изучению самого процесса и не уясним себе, что именно кажется нам нелогичным в этом способе.

Ответ может дать только химическое изучение бессемерования Нижне-Салдинского завода. Химия реторты уже детально изучена; трудами многих ученых найдены законы выгорания составных частей чугуна и зависимость хода процесса от его температуры. Моею задачей будет согласовать их выводы с приемами и основаниями процесса Нижне-Салдинского завода и показать, что способ этот есть совершенно самостоятельный тип бессемерования, имеющий все данные для широкого распространения.

Материалом для бессемерования Нижне-Салдинского завода служит древесноугольный доменный чугун, выплавляемый исключительно из высокогорского магнитного железняка.

Магнитный железняк горы Высокой, находящейся близ Нижне-Тагильского завода, издавна славится как одна из самых богатых и чистых руд земного шара, подтверждением чему служит нижеследующий ее анализ (в процентах):

SiO_2	2.85	MgO	0.98
Al_2O_3	1.80	Cu	0.06
FeO	16.71	P	0.03
Fe_2O_3	75.4	S	следы
MnO	1.30	Fe	66.01
CaO	0.99		

Но, кроме чистоты и богатства, к достоинствам этой руды нужно отнести еще: 1) ее сравнительную удобовосстановимость и 2) *самоплавкость*, так как руда эта для выплавки из нее обыкновенного передельного чугуна не требует никакой флюсовки. Такое свойство сопровождающей руду пустой породы способствует, конечно, ее значительной *легкоплавкости* сравнительно с другими магнитными железняками, и, увеличивая и без того уже высокий процент выхода из нее чугуна, делает ее в проплавке в высшей степени сухою. Действительно, непосредственные взвешивания количества шлака, приходящегося на 1 пуд выплавленного чугуна, не превосходят при плавке одной высокогорской руды 20 пудов шлака на 100 пудов чугуна, что признается чуть ли не предельной сухостью.

Для характеристики пустой породы высокогорской руды я приведу анализ чистого высокогорского шлака Нижне-Тагильского завода (в процентах):

SiO_2	44.4
Al_2O_3	25.0
FeO	1.9
MnO	4.36
CaO	13.76
MgO	10.44
	99.86

Степень кислотности его немного более однокремнеземика (обыкновенно 1.25—1.15-кремнеземик). Быстро остуженный спелый шлак всегда стекловидный, дымчатого цвета, при поливке водой дает весьма легкую пемзу; расплавленный течет лениво и тянется в нити. Особенно характерно в нем содержание значительного количества глинозема, который, повидимому, играет в нем скорее роль кислоты, чем основания, ибо шлак этого состава при флюсовке высокогорской руды кислыми флюсами весьма быстро насыщается кремнеземом, так что при кислотности всего в $1^3/_4$-кремнеземика уже теряет способность растворять в себе свободный кварц; такой случай я имел возможность наблюдать при выплавке из высокогорской руды кремнистого литейного чугуна, где кусочки кварца, составляющего пустую породу жеребцовской руды, служившей кислым флюсом, выходили из горна запутанными в шлаке, но не растворенными им.

Указанная малокислотность высокогорской руды при ее почти предельной сухости обусловливает вполне другую весьма важную ее металлургическую способность, а именно: малокремнистость выплавляемых из нее чугунов. Действительно, серый высокогорский чугун холодного дутья содержит всего 0.20—0.30% кремния при содержании графита и углерода равном 4—$4^1/_2$%; такая малокремнистость чугунов происходит, конечно, оттого, что руда просто не содержит в себе материалов для восстановления кремния; это положение лучше всего подтверждается весьма слабым влиянием нагретого дутья на состав высокогорских чугунов; и действительно, в то время, когда другие заводчики Урала жалуются на то, что качества передельного чугуна при нагретом дутье положительно ухудшаются вследствие значительного восстановления в чугун кремния, на высокогорские чугуны нагретое дутье оказывает едва заметное влияние, а именно: содержание кремния в сером передельном чугуне, при температуре дутья 200° Ц, повышается только до 0.6%, и при самом спелом ходе доменной печи до 0.9%; дальнейшее повышение температуры дутья имеет еще меньшее значение, а именно: при плавке одной высокогорской руды на дутье, нагретом в аппаратах Каупера до 1000° Ф (около 550° Ц), при нор-

мальном ходе печи получался серый передельный чугун с содержанием Si всего от 0.7 до 0.85%.

Из вышесказанного следует, что высокогорской руде не свойственно давать чугуны с большим содержанием кремния, и хотя в Нижне-Тагильских заводах получают из высокогорской руды литейные чугуны с содержанием до 3—4% кремния и даже специально кремнистые чугуны с содержанием до 12% кремния, но это не более как насильственное введение кремния, достигаемое флюсовкой и безобразным перерасходованием горючего, имеющим место в последнем случае. Для серьезной же и хозяйственной постановки доменного дела нужно руководствоваться соображением, что доменная плавка на высокогорской руде может дать только тогда хорошие результаты, когда мы будем выплавлять из этой руды чугун с умеренным содержанием кремния, насильственное же введение значительных его количеств весьма быстро понижает результаты плавки.

Этот факт имеет весьма существенное значение для успешности постановки бессемеровского процесса как в Нижне-Тагильских заводах, так и вообще на Урале, находящемся, в общем, почти в тождественных условиях, и особенно важен в обсуждении бессемеровского процесса Нижне-Салдинского завода.

Для выплавки из высокогорской руды чугуна, годного для бессемерования, в Нижне-Салдинском заводе доменную плавку ведут на сильно нагретом в аппаратах Каупера дутье (до 1000° Ф) и при значительном манометрическом давлении до $5^1/_2''$ ртути. Кроме того, для введения в чугун кремния руду флюсуют кислыми флюсами, а именно: 1) сварочным шлаком и 2) за недостатком последнего анатольевским железистым песком или рудою. Состав их таков (в процентах):

Сварочный шлак Нижне-Салдинского завода

SiO_2	32.2		
FeO	65.7	(Fe	51.25)
MnO	2.1		
Cu	0.03		
S	0.02		
P	0.06		

Сварочный шлак Нижне-Салдинского завода (от подогрева слитков)

SiO_2	24.5	MgO	нет
FeO	72.5	Cu	0.045
MnO	0.35	P	0.06
CaO	0.09	S	0.025

Анатольевский песок (руда)

SiO_2	77.25	80.30
Al_2O_3	11.26	6.45
Fe_2O_3	7.66	11.25
CaO	0.38	0.84
MgO	—	0.75

Для введения же в состав чугуна достаточного количества марганца в шихту идет марганцовая руда рудника Сапальского, близ Нижне-Тагильского завода, такого состава (в процентах):

MnO_2	64.1	Mg	следы
Fe_2O_3	22.0	Pb	1.12
SiO_2	6.6	P	0.04
Al_2O_3	3.3	S	1.002
CaO	2.53		

Количества составных частей шихты за последние годы таковы (в процентах):

Руды высокогорской и подрудка	85.6
Руды марганцевой	3.3
Шлака сварочного	6.2
Песка анатольевского	4.9

Для выплавки чугуна служат три (в действии две) восьмифурменные доменные печи эллиптического сечения, известные под именем печей Рашета. Все печи с закрытыми колошниками; доменный газ отводится для нагревания аппаратов Каупера, излишек же сжигается под паровыми котлами.

Доменная плавка Нижне-Салдинского завода ведется на серый бессемеровский чугун, сопровождающийся спелым дымчатым шлаком; но так как для успешного бессемерования получать в с е г д а совершенно серый чугун нет необходимости, то нередко чугун на домнах бывает половинчатым (в чугунных изложнях) и даже белым. Такое ведение доменных печей имеет целью повысить, по возможности, выход чугуна на 1 короб угля и сделать этим путем чугун дешевле. Кроме того, на чрезвычайно быстрое нарушение нормального хода доменных печей имеет влияние ничтожное количество шлака, сопровождающее чугун; как известно, сухость доменной плавки делает ее весьма капризною, и ничтожных обстоятельств, незаметных даже для руководителя домен, бывает достаточно, чтобы внезапно нарушить правильный ход доменных печей. Но такие нарушения хода домен в Нижне-Салдинском заводе не имеют почти никакого влияния на успешность хода бессемерования, почему, в противность другим бессемеровским заводам, доменные печи здесь ведут совершенно независимо от потребности бессемеровской фабрики, руководствуясь прежде всего непосредственными выгодами доменного цеха. Возможность бессемеровать всякий чугун избавляет завод от перерасходования горючего в доменных печах с целью всегда держать на домнах чугун спелый, что, конечно, возможно только при ведении переспелой плавки, когда все случайные влияния, расстраивающие ход домен, покрываются избытком теплоты, развиваемой в доменной печи. Такая правильная постановка доменной плавки, возможная только при способе непрямого бессемерования Нижне-Салдинского завода, имеет чрезвычайно важные последствия; результатом ее является, вообще говоря, очень высокий выход чугуна на 1 короб угля в доменных печах, несмотря на то, что чугун все же выплавляется специальных качеств.

Смотря по ходу доменных печей, качество доменного чугуна, идущего для бессемерования, весьма различно, почему я приведу несколько анализов доменных чугунов, бессемеруемых в Нижне-Салдинском заводе, для чугуна серого и белого. Чугун серый — от самого спелистого до половинчатого, по пробе в чугунной изложне (в процентах):

Si	2.52	1.82	1.36	1.44	1.18
Mn	2.30	2.88	1.95	2.30	1.82
C + графит	3.2	3.9	3.15	3.55	3.86
Cu	0.08	0.07	0.07	—	—
P	0.05	0.075	0.05	—	—
S	0.06	0.06	0.063	—	—
Механически запутавшийся шлак	—	0.15 %	0.25 %	—	—

Белый чугун, получающийся при расстроенном ходе доменных печей, бессемерующийся вполне нормально (в процентах):

Si	0.81	0.78
C	3.65	4.10
Графит (?)	0.38	0.45
Mn	1.44	1.52

Качество чугуна, который выплавляется в доменных печах, в каждый данный момент зависит, как мы увидим ниже, от количества стальной, железной и чугунной ломи, которая подлежит переработке в данное время в бессемеровской фабрике, почему указать средний состав чугуна, поступающего в бессемеровскую фабрику, невозможно. Все дело зависит от руководителя плавкой н бессемеровской фабрикой; есть ломь и ветхость — держат чугун лучше (спелее), мало ее — выплавляют половик, наблюдая только, чтобы не расстроить хода доменной печи.

Доменный шлак Нижне-Салдинского завода имеет следующий состав (в процентах):

SiO_2	52.20	MnO	4.57
Al_2O_3	19.5	CaO	10.52
FeO	0.25	MgO	10.72

По составу он обыкновенно близок к $1^3/_4$-кремнеземику. Цвет его дымчатый, с фиолетовым оттенком, при поливке водой дает легкую пемзу, при остывании трескается. Охлажденный очень медленно имеет зернистое сложение, цветом белый или слегка серый или при несколько сыром ходе доменной печи — зеленый в различной степени; расплавленный бежит очень лениво и тянется в нити еще лучше, чем шлак чисто-высокогорский, от которого отличается в стекловидном видоизменении сильным стеклянным блеском излома, тогда как высокогорский шлак имеет излом (в стекловидном изменении) несколько матовый, что зависит, конечно, от его сравнительной основности.

Количество шлака, причитающегося на 100 пудов чугуна, достигает по непосредственным взвешиваниям до 30 пудов; цифра несколько бо́льшая, чем приведенная выше для высокогорской плавки, что зависит от того, что шихта на бессемеровский чугун разжижена примесью анатольевского песка (руды).

Выплавленный в доменных печах чугун при действии бессемеровской фабрики обыкновенно не отливается в штыки на изложнях, а выпускается прямо в котел, обмазанный глиной, и отвозится в расплавленном виде в бессемеровскую фабрику.

Тут он, прежде чем поступить в реторту, подвергается перегреванию в печах Сименса или Мартена. Перегревание чугуна перед поступлением в реторту имеет двоякое значение:

1. Если мы имеем чугун белый или половик, неспособные прямо бессемероваться, то в отражательных печах температура их повышается печным пламенем настолько, что небольшого количества кремния и марганца, в них содержащихся, оказывается совершенно достаточно для поддержания весьма высокой температуры во все время продувки; таким образом, чугун, негодный для прямого бессемерования, бессемеруется в данном случае весьма горячо.

2. Если чугун был несколько лучших качеств, то этим обстоятельством пользуются для переработки попутно рельсовых концов и прочей чугунной и железной ломи. Тогда в отражательную печь до влития в нее доменного

чугуна подсаживается, смотря по качеству чугуна, более или менее значительное количество ломи, подобно тому, как это делается в мартеновском процессе. Когда подсадка расплавится (скорее растворится) в доменном чугуне, смесь нагревают и затем выпускают в котел, а из него по жолобу переливают для продувки в реторту.

При полной емкости печи и реторты в 4 т, или 250 пудов, количество подсадки в виде рельсовых концов колеблется в пределах от 0 до 100 пудов, или 40% всей садки, что бывает уже при очень спелом доменном чугуне, содержащем Si до 2%. При чугуне же средних качеств количество подсадки равно 50—60—70 пудам, или 25—30% всей садки. Чугунной ветхости или чугуна холодного дутья подсаживать можно несколько больше, чем рельсовых концов, но не настолько больше, как можно было бы предполагать; и это имеет свое основание, как мы увидим ниже. Переработка ветхости и рельсовых концов представляет так много выгод для завода, что заводоуправление заинтересовало в ней непосредственно рабочих при отражательных печах, так что рабочие получают вознагражденге только за переработку рельсовых концов и прочей подсадки, за нагрев же доменного чугуна они платы не получают. Так как от температуры, до которой будет нагрет в печи чугун, зависит не только количество подсадки, которую можно сделать, но и ход операции, то количество рельсовых концов, брошенных в реторту во время операции, тоже сосчитывается им в заработок.

Выше я указал на экономическую цель этого способа вознаграждения рабочих, но, кроме целей чисто хозяйственных, она имеет еще чрезвычайно важное значение для получения металла высоких качеств. Ниже мы увидим, что при недостаточности подсадки и, следовательно, чересчур горячем ходе операции, в окончательном продукте, т. е. в бессемеровском металле, может остаться значительное количество Si, которое чрезвычайно портит металл. Факт этот давно установлен Мюллером и в Нижне-Салдинском заводе может быть чрезвычайно просто проверен. Отсюда следует, что эта система вознаграждения рабочих имеет большое влияние на качество металла: прямая выгода рабочих — подсадить при данном чугуне возможно больше и, следовательно, не допустить слишком горячего хода операции, имеющего столь неблагоприятное влияние на качество металла. На это обстоятельство, впрочем, я буду иметь случай еще указать.

Перегретый в отражательной печи Сименса чугун, получающий после этой операции название отражательного чугуна, в отличие от доменного, выпускается из печи опять в котел и подвозится по рельсовому пути к подвижному жолобу, по которому чугун переливают в горизонтально наклоненную бессемеровскую реторту или конвертор. Переливаемый чугун имеет ослепительно белый цвет и сильно искрится, что легко объясняется тем обстоятельством, что отражательный чугун по пробе всегда *белый*, даже при темносером спелистом доменном чугуне, из которого он получается. Отбеливание чугуна в отражательных печах происходит частью от потери во время перегревания некоторого количества Si, главнейше же от присадки рельсовых концов, просто разбавляющих в большей или меньшей степени содержащиеся в доменном чугуне кремний, марганец и углерод.

Потеря кремния через простое выгорание в печах Сименса, как увидим ниже, вообще меньше, чем можно было бы подумать, что объясняется присутствием в доменном чугуне марганца, предохраняющего кремний от выгорания. Этот факт установлен уже давно Ледебуром в его статьях о литейных чугунах, помещенных, между прочим, и в Горном журнале,[1]

[1] Горн. журн., 1880, № 2, 4 и 5.

и может быть всегда проверен химическими анализами, которые будут приведены в своем месте.

Но так как потеря кремния через выгорание в отражательных печах была до сих пор всегда самым главным возражением против нижне-салдинского бессемерования, то я сделаю небольшое отступление и рассмотрю, какое значение имела бы для хода бессемеровского процесса даже значительная потеря кремния в отражательных печах? Действительно, допустим, что у нас потерялось в печи даже очень много кремния (что, в действительности, никогда не имеет места). Рассмотрим, был ли бы он потерян для бессемерования или нет. Обыкновенно думают, что кремний действительно при этом теряется, так как в чугуне, который должен будет поступить в конвертор, его уже не будет, и убедить в противном бывает трудно; между тем, нельзя не принять в соображение того факта, что если кремний частью и сгорел бы в печи, то все-таки сгорел бы не бесследно, а развил бы в печи те же 7800 единиц тепла, которые разовьет и в конверторе; эта теплота не потеряется в пространстве, а передастся тому же чугуну, что и в конверторе, и повысит температуру чугуна в печи ровно на столько же градусов, на сколько она повысила бы ее и в конверторе. Следовательно, вся потеря кремния в печах, о которой обыкновенно весьма много толкуют при описаниях бессемерования, есть потеря фиктивная и на деле не существующая. Этот логический вывод подтверждается и на фактах; всякому, имеющему в руках отражательные печи, легко убедиться, что нагреть в них малокремнистый чугун гораздо труднее, чем чугун сильнокремнистый, а что хорошо нагреть белый чугун, содержащий ничтожные количества кремния, даже весьма трудно; практика же Нижне-Салдинского завода подтверждает это наблюдение ежедневно; мастера уже давно заметили, что хороший темносерый доменный чугун, несмотря даже на подсадку до 40% рельсовых концов, нагревается гораздо лучше (скорее), чем чугун худших качеств с меньшей подсадкой, и что на хорошем доменном чугуне, несмотря на попутную переработку такого большого количества концов, можно сделать гораздо больше операций, чем на чугуне половинчатом с небольшой подсадкой или на чугуне белом, который нагреть, как надо, бывает даже затруднительно, несмотря на продолжительность подогревания.

Таким образом, нужно принять за факт, что, где бы кремний ни сгорел, выделенная им теплота никогда не потеряется даром и что значение его для бессемерования отнюдь не изменяется, сгорит ли он в отражательной печи или в реторте. Я остановился на этом вопросе потому только, что это одно из существеннейших возражений, делаемых бессемерованию Нижне-Салдинского завода его противниками; ниже помещаемые же анализы показывают, что угар Si в печах так мал, что о роли отражательных печей как отбеливающего чугун аппарата почти не стоит и упоминать, почему я и перехожу к дальнейшему описанию хода бессемерования Нижне-Салдинского завода.

По вливании в реторту отражательного чугуна по подвижному жолобу этот последний отводится в сторону; затем пускается дутье и реторта устанавливается в вертикальном положении, с чего и начинается продувка, или операция. Обыкновенно операцию на кислой набойке делят на три периода [1]:

1) горение кремния и получение шлака (шлаковый или искристый период);

[1] См. более подробные работы автора — стр. 92. *Прим. ред.*

2) горение углерода, сопровождающееся обильным белым пламенем;

3) начало горения железа и окончательного выгорания кремния и углерода.

Так как условия бессемерования Нижне-Салдинского завода значительно отступили от типичных английских, то и деления операций на такие периоды в Нижней Салде сделать нельзя. Действительно, в английском процессе в реторту поступает расплавленный, но не нагретый чугун, почему при повороте реторты сродство кислорода воздуха к кремнию и марганцу оказывается бо́льшим, чем сродство его к углероду.

Это обусловливает возникновение шлакового периода, характеризующегося отсутствием пламени и сопровождающегося весьма слабым шумом, так как продуктами горения в этот период являются только SiO_2 и MnO, которые неспособны дать пламя и газообразные продукты горения. Из горла реторты в это время вылетают только снопы искр, происходящих вследствие весьма характерного горения в воздухе брызг чугуна, причем искра всегда разлетается на несколько частей в виде крестиков или звездочек.

Только с повышением температуры чугуна в реторте сродство кислорода воздуха к углероду начинает пересиливать сродство его к кремнию и марганцу, почему среди искристого пламени первого периода постепенно начинает появляться белое сначала короткое пламя углерода, которое, развиваясь все более и более, наконец, придает пламени реторты вид ослепительно белого языка весьма значительной длины.

Этот период операции зовется вторым и характеризуется преобладающим горением углерода. Наконец, с уменьшением количеств этого последнего кислород воздуха частью вновь обращается к остаткам кремния и марганца, частью же соединяется с металлическим железом, которое начинает при этом переходить в шлак. Так как углерода сгорает уже мало, то пламя становится постепенно все короче и короче, а сильный шум, сопровождавший второй период, постепенно изменяется в зависимости от того, что в реторте опять начинают преобладать твердые продукты горения.

Вот, в коротких словах, ход характерного английского бессемерования. Нижне-Салдинский процесс отличается от него или полным отсутствием, или крайнею ограниченностью первого периода. Причина этого явления — высокая температура поступающего в реторту отражательного чугуна, при которой с первого же момента пуска дутья сродство кислорода воздуха к углероду начинает преобладать над сродством его к кремнию и марганцу, что и обусловливает появление белого пламени с первого же момента хода операции; если чугун был нагрет в отражательной печи несколько хуже, то пламени с начала операции не появляется, и тогда первый период имеет место в продолжение 1—2 минут.

Отсутствие первого периода при бессемеровании малокремнистых чугунов нельзя не назвать немалым достоинством нижне-салдинского бессемерования. Действительно, что такое первый период бессемерования с химической стороны? Это освобождение чугуна только от заключающихся в нем Si и Mn. Но представляют ли эти два элемента неизбежную примесь древесноугольных чугунов? Совсем напротив, введение этих элементов в чугун стоит больших хлопот и сильно понижает результаты доменной плавки. Следовательно, какой смысл с химической стороны вводить в доменной печи в чугун Si и Mn, чтобы выделить их в реторте в то время, когда существенная примесь, подлежащая обязательному удалению в реторте, именно углерод, не только не выгорает, но еще прибывает в процентном отношении? Очевидно, что с химической стороны

первый период при бессемеровании древесноугольных чугунов не имеет никаких оснований, и если терпится, то только как необходимое зло. Сократить его должно быть целью всякого металлурга, имеющего дело с древесноугольными чугунами. Однако, несмотря на бесполезность и вред этого периода с химической стороны, с физической точки зрения он имеет огромное значение. Действительно, вливаемый в конвертор при прямом бессемеровании из домен чугун имеет такую невысокую температуру, что если бы прямо начать обезуглероживать его, то обезуглероживаемый металл, температура плавления которого тем выше, чем меньше он содержит углерода, начал бы получаться не в капельно-жидком состоянии, как теперь, а в виде криц, подобно тому, как получается железо в пудлинговых печах или в кричных горнах. Конечно, при таком ходе операции металл не только разлить, но даже и добыть из реторты было бы невозможно. Поэтому для успешного бессемерования необходимо поднять температуру чугуна в надлежащей степени до начала обезуглероживания, что и достигается во время первого периода горением Si до начала горения углерода. Таким образом, конечная цель введения в доменный чугун во что бы то ни стало значительного количества кремния и затем сжигания его в реторте во время первого периода есть нагревание чугуна в реторте до начала обезуглероживания.

Спрашивается: не проще ли, если температура доменного чугуна действительно низка для целей бессемерования, вместо этого сложного и дорогостоящего пути, прямо взять малокремнистый доменный чугун, нагреть его до начала продувки и затем подогретый чугун влить в реторту и начать продувку, имея в виду прямо начать с выделения из чугуна существенной его примеси — углерода, а не тех именно примесей, о вводе которых в чугун мы более всего хлопотали? Так именно решен этот вопрос в Нижней Салде и так, как показывает опыт, решать его рациональнее.

Итак, вот цель и главное химическое основание введения в бессемеровский процесс перегревания чугуна, вызвавшего так много осуждений на постановку бессемерования в Нижней Салде. Как видно из предыдущего, это промежуточное подогревание чугуна имеет свое вполне логичное металлургическое значение и потому никак не может считаться признаком несовершенства бессемерования... Отсутствие первого периода бессемерования отразилось прежде всего на продолжительности операции, которая при сравнительно плохих мехах длится не более 12—14 минут, тогда как при прямом бессемеровании того же доменного чугуна операция продолжается 25 и более минут. Это сокращение операции отзывается благоприятно как на температуре процесса, так и на сбережении расходов по содержанию и ремонту воздуходувных машин. В зависимости от степени мягкости металла, который имеется в виду получить, операция оканчивается или в самом начале третьего периода, причем получается инструментальная сталь, или по достижении почти полного обезуглероживания, причем получается литое железо с содержанием углерода в 0.07—0.15% углерода. Наичаще операцию останавливают прямо при содержании углерода в металле 0.35—0.45% для получения рельсовой стали, не прибавляя в реторту ни серого, ни марганцевого чугуна. Вообще, присадки чугуна по окончании продувки стараются избегать, чтобы металл получался возможно однороднее. Это не относится до работы на мягкое литое железо, в котором по окончании продувки может быть так мало углерода, что можно опасаться красноломкости железа,[1] почему в этих случаях всегда вводят

[1] Вследствие содержания растворенных в металле окислов железа.

в металл, по окончании продувки, 1—2 пуда ферромангана на 250 пудов садки.

Полученный металл разливается по изложням общепринятым способом; изложни при работе на рельсовый металл квадратного сечения, с закругленными краями; вес слитков наичаще 15—20 пудов, так как в Нижне-Салдинском заводе катаются ординарные рельсы. Разливаемый рельсовый металл весьма спокоен и мало растет; мягкий же металл на сортовое железо растет гораздо сильнее и требует поэтому более искусной разливки.

Теперь, когда общий ход бессемерования уже известен, я перейду к химической стороне бессемеровского процесса Нижне-Салдинского завода.

Выбирая наиболее характерные и полные из множества анализов, сделанных в Нижне-Салдинской лаборатории Н. В. Кузнецовым, я постараюсь фактически показать роль отражательных печей и определить, что же делается с доменным чугуном во время всех пертурбаций, испытываемых им во время передела в рельсовую сталь.

Для этого возьмем операцию № 1630, для которой было взято из доменной печи № 2 160 пудов серого бессемеровского чугуна такого состава (в процентах):

Si	1.96
Mn	3.45
Графит + C	4.4

Чугун этот влит в отражательную печь, куда предварительно было посажено 80 пудов рельсовых концов. Средний состав рельсовой стали таков (в процентах):

Si	0.021
Mn	1.20
C	0.35

Если бы подсаженные концы растворились в чугуне без угара и полученная смесь нагрелась бы тоже без угара, то состав смеси (теоретический) был бы таков (в процентах):

Si	1.31
Mg	2.37
C	3.06

Действительный химический состав смеси при выпуске чугуна из отражательной печи в котел был таков (в процентах):

Si	1.18
Mn	1.72
C	2.28

Откуда угар составных частей чугуна в отражательной печи был следующий (в процентах):

Si	0.12
Mn	0.65
Графит + C	0.78

Отсюда мы видим, что подогрев оказал наибольшее влияние на угар марганца и углерода, а не кремния, как оно и должно быть, согласно теории Ледебура.

Затем чугун был подвергнут бессемерованию, причем через каждые 4 минуты брались пробы.

Результаты химического анализа их были следующие (табл. 1).

Таблица 1

Чугун	Si	Mn	C	Cu	P	S
	в процентах					
Из отражательной печи	1.18	1.72	2.28	0.04	0.041	0.06
После 4 минут	0.68	1.12	1.34	0.04	0.041	0.06
» 8 »	0.35	0.80	0.70	0.04	0.045	0.06
» 12 »	0.018	0.125	0.28	0.04	0.045	0.05
После прибавки 4 пудов бессемеровского чугуна	0.02	0.275	0.33	0.04	0.04	0.05

Несмотря на столь частые остановки бессемерования для взятия пробы операция шла чрезвычайно горячо, что дало возможность сбросать в реторту, во время продувки, до 23 пудов рельсовых концов.

На основании приведенных анализов были построены нижеследующие кривые, представляющие порядок выгорания различных составных частей чугуна во время продувки (фиг. 1).[1]

Сравнивая эти кривые с типичными кривыми для английского бессемерования, мы найдем следующую существенную разницу.

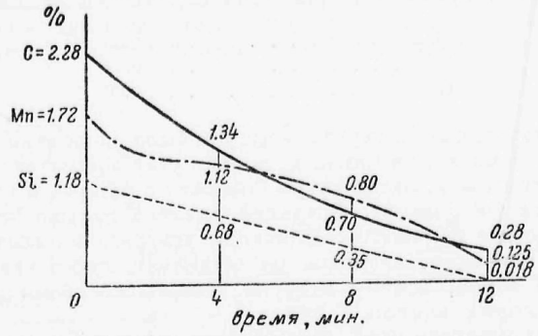
Линия углерода в продолжение первых 4—5 и даже 10 минут бессемерования идет в английском процессе не только совершенно горизонтально, но нередко даже слегка повышаясь (что происходит, впрочем, вследствие угара других примесей чугуна, а не вследствие действительного увеличения количества углерода), тогда как вышеприведенная кривая углерода почти сразу круто падает вниз.

Линия кремния в английском процессе падает обыкновенно вначале весьма круто и только при содержании Si менее 1% крутое падение сменяется более пологим, причем момент перелома линии кремния на менее энергичное горение в большинстве случаев соответствует началу второго периода и перелому линии углерода на горение более энергичное. В данном случае мы имеем совершенно другой вид кривой кремния: период крутого падения линии кремния ничтожен, и, напротив, во все время операции кремний горит удивительно равномерно.

Линия марганца — наименее характерная и постоянная из всех трех; надо думать, что марганец, в общем, в значительной мере подчиняется тем же законам выгорания, как и кремний, но, вероятно, на вид его кривой имеют влияние, кроме общих для всех трех элементов условий, еще специальные условия, заставляющие ее уклоняться иногда от направления, согласного с линией кремния.

[1] Подробные анализы, на основании которых всякий может построить кривые различных исследователей и различных бессемеровских заводов Западной Европы и Англии, можно найти в следующих сочинениях и руководствах: A. Ledebur, Ausführliches Handbuch der Eisenhüttenkunde; Wedding, Dictionnaire de chimie, A. Wurtz; Стедт, Химия бессемеровской реторты, Горн. журн., 1883, № 11.

Тем не менее, для линии марганца операции № 1630 характерна сравнительно ничтожная продолжительность периода энергичного горения в начале операции, сменившаяся весьма быстро мало энергичным горением почти во все время горения углерода или второго периода бессемерования; только к концу операции при уже небольшом содержании в металле углерода марганец вновь начинает гореть энергично, и кривая его круто поворачивает вниз.



Фиг. 1. Кривые выгорания примесей в операции № 1630 Нижне-Салдинского завода

Вышеуказанный характер кривых выгорания дает возможность сделать следующие выводы:

1) несмотря на достаточное содержание в поступающем в реторту чугуне кремния, первого периода в бессемеровском процессе нет или он весьма короток;

2) поэтому характер выгорания кремния и марганца в процессе Нижне-Салдинского завода существенно отличен от выгорания такового же при прямом бессемеровании, а именно: вместо почти полного выгорания в начале продувки и весьма медленного в середине и конце операции, кремний в данном случае горит равномерно во все продолжение операции, поддерживая во все время процесса достаточно высокую температуру. Иначе говоря, горение кремния растянуто на все время горения углерода, что обеспечивает высокую температуру конца операции, а не начала, как в английском способе. И действительно, в Нижней Салде температура процесса к концу операции всегда сильно повышается, так что даже если операция идет сначала стыловато и из реторты сначала сильно плещет, то к концу она почти всегда разгорячается настолько сильно, что металл хорошо разольется. Неоконченные операции вследствие стылости — явление крайне редкое, из чего, однако, не следует, что операции всегда идут горячо и без всплесков. Что вышеуказанное явление действительно имеет место и не есть плод фантазии, видно еще резче на кривых выгорания этих элементов при бессемеровании чисто белого доменного чугуна, получаемого нередко при пересиленной сыпи доменной печи и бессемеруемого уже без присадки рельсовых концов. С этой целью была исследована операция № 3002; для нее был взят с доменной печи № 2 белый чугун в количестве 240 пудов такого состава (в процентах):

Si	0.75
Mn	2.60
C	3.70

Он был подогрет в отражательной печи Сименса и при выпуске в котел оказался такого состава (в процентах):

Si	0.70
Mn	2.01
C	3.65

Итого угар во время подогрева был следующий (в процентах):

Si	0.05
Mn	0.59
C	0.05

Откуда следует, что температура чугуна была повышена почти исключительно за счет газов печи Сименса, так как угар повышающих температуру примесей ничтожен. Затем чугун был влит в реторту и бессемеровался в продолжение $14^1/_2$ минут. Операция длилась дольше, чем при сером чугуне, вследствие большего содержания углерода во влитом в реторту чугуне. Ход операции, несмотря на остановки дутья через 3 минуты, был чересчур горяч, почему в горло реторты во время операции было брошено рельсовых концов 7 пудов.

Результаты анализов проб, взятых через каждые 3 минуты, приведены в табл. 2.

Таблица 2

Чугун	C	Si	Mn
	в процентах		
Поступивший в реторту	3.65	0.70	2.01
После 3 минут	2.50	0.56	1.31
» 6 »	1.70	0.47	1.29
» 9 »	1.05	0.43	1.04
» 12 »	0.55	0.33	0.65
» $14^1/_2$ »	0.28	0.026	0.31

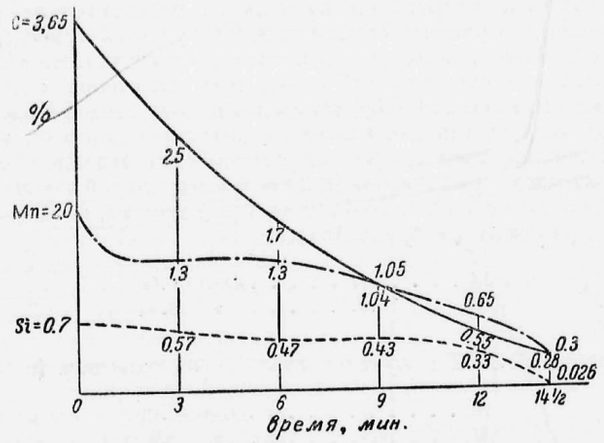
На основании этих анализов можно изобразить процесс выгорания различных элементов чугуна следующими кривыми (фиг. 2).

Сравним эти кривые с такими же кривыми операции № 1630. Что же мы найдем?

а) Линия углерода, начавшись гораздо выше, чем таковая же операции № 1630, идет гораздо круче этой последней, из чего следует, что горение углерода в операции № 3002 идет энергичнее, чем в операции № 1630, а это объясняется: 1) большим количеством углерода относительно содержания Si и Mn и 2) вероятно, более высокой температурой поступившего в реторту отражательного чугуна, о чем можно догадываться на основании того факта, что первый период, в данном случае, еще незначительнее, чем таковой же операции № 1630.

б) Линия кремния — еще характернее, чем в операции № 1630. Действительно, такому виду кривой кремния было бы трудно даже поверить, если бы Мюллер [1] уже давно своими исследованиями не предсказал возможности такого поведения кремния в бессемеровской реторте. Оказывается, что из 0.70% кремния в первые 12 минут сгорает только половина, остальная же половина сгорает вдруг, сразу, в последние $2^1/_2$ минуты почти дочиста, так что в готовом металле остается только 0.0261% кремния! Чем объяснить столь малую энергичность горения в начале процесса и, напротив, быстроту выгорания его в конце? На основании результатов исследования Мюллера можно прямо сказать, что причина этому непонятному явлению следующая: в реторту поступил чугун, сильно нагретый в отражательной печи; при повороте реторты кислород воздуха начинает реагировать; к какому из трех элементов он устремится? Очевидно, к тому,

[1] Горн. журн., 1878, август, сентябрь; 1879, август.



Фиг. 2. Кривые выгорания примесей в операции № 3002

к которому имеет наисильнейшее сродство при данной температуре. Если же мы припомним приводимый Мюллером закон, что сродство кислорода воздуха к кремнию с повышением температуры уменьшается, а сродство углерода быстро повышается, то нам станет очевидным, что есть такой момент или, вернее, такая температура, при которой сродство углерода к кислороду пересилит сродство к нему кремния и углерод начнет быстро выгорать в то время, как кремний или не будет выгорать вовсе или будет выгорать очень медленно. Такой именно случай и представляет операция № 3002, из чего должно прямо заключить, что температура влитого в конвертор отражательного чугуна должна была быть или близка или же несколько выше этой предельной температуры, что весьма возможно, так как Мюллер определяет ее всего в 1600° Ц — температура, легко достижимая в печах Сименса.

Итак, вот причина такого поведения кремния во все первые 12 минут: это высокая температура чугуна с начала продувки, которая способствует горению углерода, но противодействует горению кремния, почему почти до самого начала третьего периода, когда углерода остается всего только 0.55%, кремния в металле содержится еще целых 0.33%, которые выгорают только под самым концом операции, но зато выгорают чрезвычайно энергично. Чем же объяснить тут энергию выгорания кремния? Мюллер объясняет ее просто тем, что гореть в это время в реторте, кроме Si и железа, уже нечему, так как металл трудно отдает последние части заключен-

ного в нем углерода, почему кислород воздуха и обращается почти весь на кремний и выжигает его весьма быстро.

Итак, мы видим, что при бессемеровании белого чугуна до последнего момента в металле остается еще больше Si, чем при бессемеровании чугуна серого с значительной подсадкой. Что же, хорошо это или дурно?

Для хода операции, очевидно, хорошо. Сгорающий в конце операции кремний обеспечивает горячий конец операции и, следовательно, горячий, спокойный, легко разливаемый металл, отчего качество этого последнего всегда лучше и прокатка его всегда легче. Кроме того, если металл был в начале операции стыловатый, то в конце операции почти всегда еще найдется в запасе достаточное количество кремния, чтобы повысить температуру металла ко времени его разливки; и действительно, раз металл пробессемерован, то разлить его почти всегда удается хорошо, даже при стылом ходе процесса. Сильное повышение температуры металла в конце операции особенно существенно важно при получении очень мягкого металла с содержанием до 0.07% углерода, почему способ Нижне-Салдинского завода следует считать особенно пригодным для этой цели.

Одно неудобство представляет этот способ: это невозможность приготовлять им высший сорт углеродистой инструментальной стали. И действительно, остановим операцию № 1630 на 1% углерода, тогда мы получим сталь с содержанием (в процентах):

Si . . . . . около 0.45
Mn . . . . . » 1.0

Из операции № 3002 получится сталь с содержанием (в процентах):

Si . . . . . около 0.42
Mn . . . . . » 1.0

При меньшем содержании C будет меньше и этих примесей, но все же сравнительно с количеством углерода их будет еще очень много. Такое содержание Si и Mn, хотя не мешает качествам стали, так как она с большим успехом употребляется в Нижне-Салдинском заводе как для точки валов, обстрожки рельсов, сверления их, так и для слесарных пил и прочих надобностей (где другие рельсовые заводы употребляют исключительно английскую тигельную сталь), но лишает ее драгоценных качеств углеродистой стали: 1) легкости калки и 2) мягкости в обработке в незакаленном виде. Калить нижне-салдинскую инструментальную сталь нужно весьма умеючи, неумелый же мастер с ней ничего не сделает. В этом отношении приводимый Ледебуром[1] процесс шведского завода Сандвикен несравненно выше нижне-салдинского процесса; тут при содержании еще 1.3% углерода бессемеровская сталь содержит только следы кремния, что делает этот процесс, вероятно, особенно пригодным для получения хорошей инструментальной стали.

Ради интереса я привожу результаты исследований процесса этого завода, который может служить нам примером образцового шведского процесса.

Результаты химических исследований проб, взятых через 3 минуты одна после другой во время одной из операций завода Сандвикен, показали следующее (табл. 3).

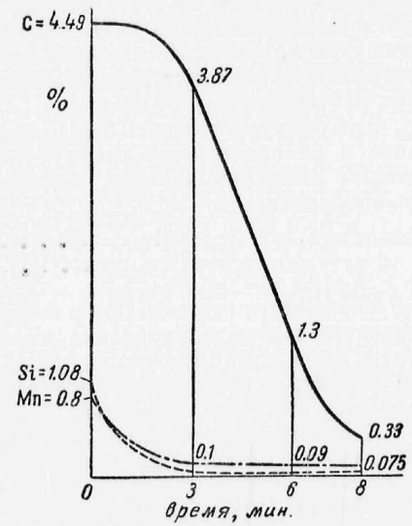
[1] A. Ledebur, Handbuch der Eisenhüttenkunde, 1884, стр. 918.

Таблица 3

	Состав чугуна, %	После 3 минут (в процентах)	После 6 минут (в процентах)	После 8 минут (в процентах)	После прибавки марганцевого чугуна, %
Углерода	4.49	3.87	1.30	0.33	0.70
Кремния	1.08	0.026	0.026	0.015	0.058
Марганца	0.83	0.108	0.090	0.075	0.324
Серы	0.020	0.015	0.010	0.010	0.015
Фосфора	0.017	0.018	0.016	0.020	0.018

На основании этих анализов можно построить для бессемерования завода Сандвикен следующие кривые выгорания (фиг. 3).

Только в первые 3 минуты чугун содержит некоторое колчество Si, горением которого температура чугуна в реторте может повышаться, остальные же 5 минут горит только один углерод, так как ни кремния, ни марганца в чугуне уже нет, и выгорает его таким способом не менее 3.5%! Результат действительно поразительный и оправдываемый только быстротой процесса, продолжающегося нередко только всего 5 минут.



Фиг. 3. Кривые выгорания примесей при бессемеровании на заводе Сандвикен

Не сомневаясь в успешности таким способом веденного бессемерования, невольно задаешься вопросом: откуда же берется температура и чем она поддерживается во все время второго и третьего периодов работы, так как наивысшей температуры чугун достигает в реторте, очевидно, в конце первого периода, т. е. при содержании углерода в целых 3.87%, и можно ли при таком ходе процесса попутно перерабатывать в реторте хоть сколько-нибудь остатков от бессемеровского и прокатного производств? Вероятнее всего думать, что в данном случае мы имеем пример переработки в сталь исключительно только чугуна, а не чугуна в смеси с значительным количеством железной ломи, которой, можно предполагать, в заводе Сандвикен или нет совсем или очень мало. Завод, судя по описаниям Эренверта,[1] прокатывает весь свой бессемеровский металл в проволоку и другие мелкие сорта для разных поделок, почему значительного количества концов и остатков у него и быть, конечно, не может. Если это так, то при всей заманчивости такой постановки дела она совершенно непригодна для рельсового производства, так как последнее всегда дает не менее 15—20%

[1] I. Ehrenwerth, Das Eisenhüttenwesen Schwedens, 1885.

концов и прочей ломи, переработка которой есть прямая обязанность бессемеровской фабрики. Сопоставляя с химической стороны характер бессемерования завода Сандвикен с бессемерованием Нижне-Салдинского завода, мы найдем следующую разницу: в заводе Сандвикен вся теплота, скрытая в чугуне в виде содержащегося в нем кремния, выделяется в начале процесса и затем процесс идет и кончается уже только насчет температуры чугуна, развившейся в конце первого периода, так как добавочной теплоты во время второго и третьего периодов ждать уже неоткуда; поэтому, a priori можно заключить, что операция завода Сандвикен должна иметь всегда в начале ход более горячий, чем в конце, что мало обеспечивает надлежащую температуру разлива металла. В Нижне-Салдинском способе этот риск процесса, характерный для завода Сандвикен, устраняется в значительной степени; тут кремний или горит равномерно во все время операции, или почти половина его остается до самого конца операции и способствует сильному (до 100°Ц) подъему температуры металла перед самой разливкой. Такой порядок выгорания кремния, конечно, предпочтительнее шведского, но обусловливается более высокой температурой чугуна, поступающего в реторту. Отсутствие кремния во все продолжение второго и третьего периодов работы и происходящая отсюда возможность застудить металл ко времени разливки понудили шведов уменьшить, по возможности, внешние потери теплоты во время продувки и, снабдив бессемеровские фабрики сильными мехами, сократить операцию до минимума, что с металлургической точки зрения и есть главное достоинство этого процесса.

Это дало возможность бессемеровать весьма малокремнистые чугуны, хотя и не предельные, потому что Нижне-Салдинский завод идет еще дальше шведских заводов, бессемеруя успешно чугун с содержанием (в процентах):

Si	0.75%; 0.80%
Mn	0.75%; 1.0%

После этого отступления я возвращусь опять к процессу Нижне-Салдинского завода и постараюсь выяснить, какое же химическое значение имеет подсадка в отражательные печи рельсовых концов и какое влияние на бессемеровский процесс имеет это разбавление доменного чугуна стальной или железной ветхостью.

Хозяйственное значение этой меры очевидно: рельсовые концы составляют бремя всякого сталеделательного завода и потому переработать их по возможности дешево есть цель всех рельсовых заводов. Отражательные печи Нижне-Салдинского завода при такой их роли представляют собою положительно незаменимый аппарат для переработки всякой ветхости и перерабатывают ее так дешево, что этим не только покрываются все расходы по содержанию самих печей, но чугун отражательных печей выходит даже дешевле[1] доменного, из которого он получается, поэтому хозяйственная сторона этого вопроса не подлежит даже никакому обсуждению.

Другое дело — сторона химическая, так как указываемое разбавление или, якобы, ухудшение состава чугуна до вливания в бессемеровскую реторту является фактом поистине беспримерным. Насколько я знаю, ни один из заводов Запада не делает этого, тогда как для весьма и весьма многих заводов эта идея могла бы иметь чрезвычайно важные последствия;

[1] Рельсовые концы и прочая железная ветхость по принятому счетоводству ценятся около 60% стоимости сходных слитков и 75% стоимости доменного, бессемеровского чугуна, что и обусловливает такой странный, повидимому, факт.

как мы увидим ниже, это касается в особенности заводов Западной Европы с так называемым немецким способом бессемерования Мюллера. Выяснить себе значение подсадки рельсовых концов в отражательные печи удалось мне благодаря следующему случаю: однажды в Нижне-Салдинском заводе был получен из Нижне-Тагильского завода чугун, выплавленный г. Гладким из высокогорской руды на бобровском или егоршинском антраците[1] во время опытной плавки; чугун этот следовало пробессемеровать и определить, насколько он пригоден для бессемерования. При отправке чугун (различных выпусков) был перепутан, и так как пределы содержания Si и Mn в этом чугуне (различных выпусков и шихт) были чрезвычайно широки, то сказать, какого именно среднего состава мы получили чугун, было положительно невозможно. Это заставило принять все меры, чтобы предохранить операцию от стылого хода, так как такие операции всегда доставляют очень много хлопот и вообще задерживают правильную работу фабрики. Поэтому, несмотря на то, что чугун был весь серый, его посадили для расплавления в отражательную печь без присадки, сильно нагрели и стали бессемеровать. Однако проба, взятая из печи, при выпуске в реторту показала, что чугун был очень спелой плавки, так как, несмотря на продолжительное выдерживание в печи, он не отбелился.

Действительно, по анализу оказалось, что в реторту поступил чугун такого состава (в процентах):

Операция № 1614

C	2.20
Графит	0.93
Si	2.07
Mn	1.08
S	0.068
P	0.079
Cu	0.12

При этом не надо забывать, что температура поступившего в реторту чугуна была очень высока. Результат таких условий сказался тотчас по пуске дутья, а именно, в противность нормальному ходу бессемерования, первый период операции был довольно продолжительный и длился около 2—3 минут; затем наступил второй период, появилось пламя, сначала ясное, а затем все более и более дымное, что указывало на горячий ход операции. Мастер распорядился прибавлять в реторту рельсовые концы; однако они плохо помогали; пламя стало понемногу укорачиваться, дым же становился все гуще и гуще, так что наблюдать процесс в спектроскоп было совершенно невозможно. Наконец, когда пламя почти скрылось и как будто начался опять первый период, реторта была поворочена и стали брать пробы. Шлак оказался густой и в виде каких-то комков, в противность нормальному, крайне жидкому и подвижному марганцовистому шлаку; проба на проковку не далась и развалилась, судя же по сыпи излома, вообще довольно странной, можно было догадаться, что металл содержит очень немного углерода. Тогда было решено бросить 3 пуда ферромангана и взять пробы; влияние марганца тотчас же сказалось: проба на излом стала плотнее и проковалась, хотя и не без рванин. После этого металл был вылит в ковш и разлит по изложням. При разливке металл оказался чрезвычайно характерным: несмотря на то, что он был

[1] Восточного склона Урала.

очень горяч, он казался густым и сметанообразным, газов не выделял, застывал быстро и не рос. Совокупность этих обстоятельств указывала, что в данном случае мы имеем дело с каким-то необыкновенным ходом операции и металлом и заставила ждать результатов химических исследований. Химическое исследование проб, взятых до присадки ферромарганца и после, показало (в процентах):

Операция № 1614

	До присадки	После присадки
C	0.09	0.18
Si	0.50	0.53
Mn	0.18	0.47
S	0.03	0.029
P	не опр.	0.09
Cu	то же	0.18

Кроме того, были взяты два слитка и прокатаны в рельсы; оказалось, что металл этот кататься в рельсы не может, так как на подварках было много мелких рванин.

Чтобы исследовать вопрос еще более, один из слитков в 20 пудов был разломан под копром пополам. Оказалось, что слиток имел совершенно плотное сложение в середине; пузырьки газов были только по периферии слитка; сыпь была гораздо мельче, чем следовало бы по содержанию углерода, и свежий излом поражал своим темносерым цветом, тогда как обыкновенно бессемеровский металл имеет серебряно-белый цвет излома. Это заставило поискать в металле графита (?), и, действительно, оказалось, что при растворении и кипячении навески металла в соляной кислоте остался черный осадок (графита?) в количестве 0.18%; однако точно свойства этого осадка определены не были.

Все эти странности полученного металла совершенно станут понятными, если мы обратим внимание на то, что этот металл содержал 0.53% кремния. Но каким образом это случилось? Тут опять обратимся к вышеприведенной статье Мюллера и тогда увидим, что этот факт есть прямое следствие тех условий, в которые мы поставили бессемерование нашего антрацитового чугуна. Действительно, чугун был сильно кремнистый (2% Si), а мы его перегрели до начала операции; очевидно, что при таких условиях сродство углерода к кислороду воздуха весьма быстро достигло своей максимальной величины, почему после небольшого первого периода, когда успела выгореть только небольшая часть содержащегося в чугуне кремния, весь кислород воздуха обратился к углероду и до окончания первого периода наступил весьма горячий второй период работы, во время которого окисление кремния не имело уже места. Кремний, если и горел, то весьма медленно, почему к концу второго периода его, вероятно, осталось не менее 1 или 0.75%. Только с началом третьего периода началось опять энергичное выгорание кремния, отразившееся внешним образом на полном исчезновении пламени углерода и на изменении шума в реторте. Отсюда мы видим, что в данном случае мы имели дело с характерным *немецким бессемерованием* (Мюллер). Как известно, это бессемерование отличается характерным для него получением *сильно кремнистой стали*, как *окончательного продукта* бессемерования (содержание Si доходит до 1% в рельсовом металле). Мюллер, установив этот факт, оговаривается, однако, что колоссальное количество Si в бессемеровском металле не портит его качеств, в чем, однако, на основании собственного опыта, я имею все данные сомневаться. Это, впрочем, вопрос второстепенный и не имеющий для нас значения; для нас важен следующий вывод из вышеприведенного случая бессемерования антрацитового чугуна, а именно: *при содержании кремния в доменном чугуне, превышающем* 1—1.25%, *вести процесс бессемерования с предварительным подогревом в отражательных печах*[1] *без ущерба для качества металла нельзя, так как процесс идет тогда по схеме Мюллера* и дает как окончательный продукт сильнокремнистую сталь, негодную для прокатки ее в рельсы.

Если же мы желаем в этом случае вести бессемеровский процесс нормально и получать хорошую рельсовую сталь, то обязательно *прибавлять в отражательные печи рельсовые концы*[2] в таком количестве, чтобы отражательный чугун содержал не более 1.25% кремния; самыми же подходящими пределами для кремния будут 0.8—1.0%, которые вполне обеспечивают получение металла с содержанием Si всего в 0.02—0.03%.

Мы видели, что в Нижней Салде, чтобы не дать бессемерованию возможности следовать по схеме Мюллера и не получать кремнистой рельсовой стали, установлена система вознаграждения подмастерьев и рабочих только за переработанные концы и ветхость, а никак не за доменный чугун, который подогревается ими даром; этой системой заводоуправление не только добилось максимального процента попутно перерабатываемой ветхости, но и обеспечило всегда прекрасные качества рельсового металла. Кроме того, независимо от качеств доменного чугуна, отражательный чугун здесь отличается постоянством своего состава и температуры при поступлении в реторту; это создает бессемерованию чрезвычайно однообразные условия, почему операции идут без брака, металл же получается настолько однородный по составу, что о возможности уклонений, подобных тем, на которые указывает Мюллер и которые действительно существуют при прямом бессемеровании из домен, нечего и думать.

Пределы для примесей в рельсовой стали здесь крайне узки, что видно из такой таблицы (в процентах):

C	0.35—0.45	
Mn	0.08—0.35	(редко)
Si	0.015—0.06	(редко)
S	0.04—0.07	
P	0.04—0.07	
Cu	0.04—0.10	

Из всего вышесказанного следует, что с химической стороны подсадка рельсовых концов в отражательные печи есть необходимое условие успешного бессемерования спелых и кремнистых чугунов и что подсадка гарантирует бессемерование от вредных результатов чересчур горячего хода операций (процесса Мюллера или немецкого) так же хорошо, как подогрев доменного чугуна в отражательных печах гарантирует его от стылого хода. Таким образом, в умелых руках отражательные печи в бессемеровании представляют идеальный *регулятор бессемерования*, вполне обеспечивающий этот капризный процесс от всех вредных влияний.

Коснувшись немецкого способа бессемерования, который, очевидно, не может считаться желательным даже и для заграничных заводов, я не могу не указать на то, что идея смешивать бессемеровский чугун до поступления в реторту с железной ветхостью должна иметь громадное значение для заводов, работающих volens nolens этим способом. Действи-

[1] Без присадки ветхости.
[2] Или малокремнистую чугунную ветхость.

тельно, казалось бы, избегнуть этого способа и его роковых последствий немцам было бы крайне просто, стоило бы в те отражательные печи, в которых у них бессемеровский чугун теперь только расплавляется, подсаживать сообразно чугуну некоторое количество ветхости — и все дело было бы решено к общему удовольствию. Очевидно, что операции пошли бы тогда, как в Нижней Салде, вполне нормально и, кроме того, попутно переработалось бы еще немало ветхости, что всегда весьма выгодно для завода. Отсюда мы видим, что способ Нижне-Салдинского завода не только применим для заводов древесноугольных, но что он имеет будущность и для Западной Европы и не будет ничего удивительного, если в один прекрасный день это действительно так и случится. Недаром же вопрос о неудобстве прямого бессемерования для чугунов сильнокремнистых, содержащих свыше 3% кремния, поднимается теперь очень часто и вызывает много сетований и попыток избегнуть такого неудобства!

Чтобы покончить с химическою стороною бессемерования Нижне-Салдинского завода, я приведу исследование еще одной из операций, именно № 2459, с целью подкрепить ранее высказанное мнение, что даже значительное выгорание Si, Mn и C в отражательных печах не составляет потери этих элементов для бессемерования и что случаи таких потерь бывают в Нижне-Салдинском заводе, но проходят совершенно незаметно даже для мастеров. Бывает это обыкновенно, если металл по независящим от мастера обстоятельствам сидит в печи дольше, чем необходимо для его нагревания. Результаты анализов приведены в табл. 4.

Таблица 4

Операция № 2459

Посажено в отражательную печь	Пудов	Химический состав, %		
		Si	Mn	C+графит
Бессемеровского доменного чугуна прямо из домны № 1 . .	135	1.95	1.85	3.60
Чугуна холодного дутья	20	0.30	0.38	4.02
Рельсовых концов	70	0.021	0.20	0.34
Теоретический состав смеси . .	225	1.196	1.20	2.58
Действительный состав отражательного чугуна	—	0.84	0.72	1.41
Откуда:	—			
Угар составных частей чугуна в отражательной печи		0.356	0.48	1.17

Сравнивая эту операцию с предыдущими, найдем громадную разницу в угарах, между тем как результаты хода бессемерования почти одни и те же, откуда прямо следует, что угары Si и Mn в отражательных печах не суть потери для бессемерования.

Теперь мне остается разобрать еще один вопрос, а именно: какая разница наблюдается в ходе процесса при подсадке малокремнистой чугунной ломи (обыкновенно холодного дутья), сравнительно с ходом процесса при прибавке одних рельсовых концов и какая из этих подсадок легче перерабатывается в отражательных печах.

Решая этот вопрос a priori, можно было бы сказать, что чугунная ветхость должна бы перерабатываться, конечно, гораздо легче, чем ветхость железная, так как состав чугуна холодного дутья гораздо ближе к составу бессемеровского чугуна, чем рельсовая сталь. Однако непосредственный опыт указывает нам, что чугунная ветхость, если и перерабатывается легче, то не настолько, насколько можно было бы предполагать, и причина этому весьма простая. Действительно, в чем разница при прибавке в отражательные печи чугуна (холодного дутья) и рельсовых концов? Кремния и марганца как чугун, так и рельсовые концы вносят очень немного, хотя первый и больше, чем рельсовые концы, следовательно, главнейшая разница между той и другой подсадкой заключается в том, что чугун есть подсадка углеродистая (с $3^1/_2$—4% углерода), а рельсовые концы содержат ничтожное количество углерода. Поэтому при подсадке чугуна отражательный чугун получается более углеродистым, чем при подсадке рельсовых концов, которые, не внося своего углерода, только разбавляют углерод, бывший в бессемеровском чугуне. Так как малоуглеродистость отражательного чугуна облегчает его бессемерование и сокращает продолжительность операции, то в результате выходит, что рельсовых концов подсаживать в отражательные печи можно почти столько же, сколько и чугунной ветхости, хотя эта последняя плавится гораздо легче и все же содержит заметные количества Si и Mn. Такой вывод вполне оправдывается и опытом.

Отсюда мы можем вывести еще следующее положение относительно роли, которую играет подсадка в отражательные печи, а именно: на разбавление спелого бессемеровского чугуна рельсовыми концами в отражательных печах отнюдь не следует смотреть как на ухудшение качеств чугуна, предназначаемого для продувки в конверторе бессемера, ибо присадка рельсовых концов, уменьшая содержание углерода в чугуне, поступающем в реторту, облегчает его бессемерование. Таким образом, значение подсадки концов — элемента, разбавляющего содержание полезных примесей — кремния и марганца, значительно искупается значением этой же подсадки как элемента, облегчающего процесс бессемерования, вследствие уменьшения относительного содержания углерода. Это объясняет тот поразительный факт, что доменный бессемеровский чугун при содержании Si не более 2.0% допускает подсадку в 40% веса всей шихты, или 67% веса бессемеровского чугуна, — случай, объяснить который иначе было бы весьма трудно. Этому же обстоятельству бессемерование Нижне-Салдинского завода обязано сокращением операции с 25 минут при прямом бессемеровании на 12—13 минут при бессемеровании с подогревом в отражательных печах. Факт тоже немаловажный как с экономической, так и с технической стороны. Итак, и в этом случае отражательные печи опять-таки приносят существенную пользу.

Если резюмировать теперь все выгоды непрямого бессемерования Нижне-Салдинского завода, то придется принять следующее:

1. Отражательные печи дают возможность бессемеровать всякий чугун, какой получится в доменных печах, даже от расстроенного хода этих печей; предельным содержанием Si и Mn в доменном чугуне, ниже которого бессемерование уже делается рискованным, будет Si — 0.75%, Mn — 0.75%. Это дает возможность:

а) выплавлять бессемеровский чугун с меньшим содержанием Si и Mn, не превышающим в среднем для Нижне-Салдинского завода Si — 1.5% и Mn — 2.0%, что сильно увеличивает выход чугуна на 1 короб угля;

б) вести доменную плавку совершенно независимо от потребностей бессемеровской фабрики, сообразуясь главнейше с ее непосредственными выгодами и потребностями, вследствие чего при ведении домен можно всегда держать нормальную сыпь, а не пониженную, на случай могущих быть расстройств печей, что особенно важно при сухости высокогорской доменной плавки, склонной к внезапным расстройствам;

в) избавляет бессемеровскую фабрику от остановок и неправильностей работы вследствие неполадок в домнах и получения чугуна белого и стылого;

г) избавляет от необходимости браковать чугун при выпусках из печи и отливать его при сыром ходе печи в штыки и прибавлять потом понемногу к чугуну горячему и спелому; теперь весь чугун всегда поступает в жидком виде в переработку в бессемеровской фабрике, независимо от его качеств;

д) отражательные печи гарантируют бессемерование доменного чугуна от неудачных операций, почему бессемерование в Нижней Салде идет без брака.

2. Отражательные печи дают возможность, выплавляя в среднем чугун с содержанием кремния в 1.5%, перерабатывать до 25—30% и более ветхости чугунной, валовой, железной, бессемеровской мякоти и рельсовых концов, что:

а) не только окупает все расходы на отражательные печи, но способствует сильному понижению стоимости слитков;

б) увеличивает производительность завода при выплавке определенного количества доменного чугуна, обусловливаемого как размерами лесной дачи, так и воздуходувными и прочими устройствами, расходы на которые при этом остаются те же, но разносятся, следовательно, на большее количество выделываемого металла, что удешевляет его;

в) сокращает вдвое расходы на содержание воздуходувных машин, так как операции продолжаются вместо 25 минут всего 12—14 минут, что главнейше следует приписать влиянию подсадки в отражательные печи.

3. С металлургической точки зрения введение отражательных печей имеет следующее влияние на ход бессемерования:

а) понижает необходимое содержание в бессемеруемом чугуне кремния до 0.75%;

б) высокая температура чугуна отражательных печей предохраняет кремний от горения в начале операции, почему операция начинается всегда со второго периода, а кремний или горит равномерно во все время продувки, или же большая часть его остается на самый конец операции, обусловливая сильное повышение температуры металла ко времени его разливки; это имеет весьма хорошее влияние как на качество продукта, так и на успешность бессемерования, гарантируя всегда надлежащую температуру металла при разливке и делая его особенно пригодным для получения очень мягкого металла с содержанием до 0.07% углерода;

в) отражательные печи являются идеальным регулятором для химического состава чугуна, поступающего в реторту, а именно, несмотря на значительные колебания в составе доменного чугуна и содержания в нем кремния в пределах от 0.75 до 2.2%, чугун отражательных печей имеет крайне постоянный состав, причем содержание Si колеблется в тесных пределах от 0.8 до 1.0%, что отзывается чрезвычайно благодетельно как на однообразии хода операций, так и на однородности химического состава рельсовой стали за целые годы; то же относится и до температуры доменного чугуна, обыкновенно весьма различной, в зависимости от хода домен; отражательные печи доводят температуру чугуна, поступающего в реторту, всегда до одной нормы, близкой к 1600° Ц, что делает руководителя бессемеровской фабрики полным хозяином как химического состава чугуна, так и его температуры;

г) в химическом составе отражательного чугуна наблюдается, при почти аналогичном для обоих случаев содержании Si и Mn, только два предела содержания углерода: чугун малоуглеродистый — от 1.5 до 2.25% и многоуглеродистый — от 2.5 до 3.75%; первый предел получается при хорошем спелом доменном чугуне и большой подсадке рельсовых концов или железной ветхости; второй — при доменном чугуне белом или при подсадке многоуглеродистой (чугунной ветхости или штыкового чугуна холодного дутья).

Продувка чугуна последнего предела продолжительнее и, следовательно, труднее первого, чем объясняется почти одинаковая легкость переработки чугунной ветхости и рельсовых концов, несмотря на значительную трудноплавкость этих последних;

д) в дополнение к пункту «в» следует прибавить, что отражательные печи предохраняют операции не только от стылого хода, но и от возможности хода их по схеме Мюллера или немецкого бессемерования, следствием чего является всегда ничтожное содержание в окончательном продукте Si, не превышающее 0.02—0.05%.

4. Возражения, которые приходилось слышать относительно способа бессемерования Нижне-Салдинского завода, сводятся к следующим трем пунктам:

а) на отражательные печи расходуется лишнее горючее — расход непроизводительный с точки зрения защитников прямого бессемерования;

б) в отражательных печах теряется часть кремния для бессемерования, так как чугун при нагревании отбеливается;

в) разбавление хорошего бессемеровского чугуна концами и ветхостью кажется нелогичным, так как чугун, якобы, портится этой присадкой.

Что касается первого возражения, то, как указано неоднократно, расход на содержание отражательных печей с избытком покрывается попутной переработкой ветхости, на счет которой правильно было бы прямо и сносить этот расход. Действительно, по годичным сведениям, количество концов и ветхости, перерабатываемой бессемеровской фабрикой в Нижне-Салдинском заводе, равно 25—30% веса всех материалов, поступающих в бессемеровский конвертор, тогда как, например, заграничные заводы перерабатывают всего 10—12% рельсовых концов при чугуне, содержащем гораздо более кремния, чем Нижне-Салдинский.

О потерях Si и Mn было уже говорено немало; несомненно, что потери эти совершенно фиктивны и роль Si и Mn совершенно одна и та же, где бы они ни сгорели, что подтверждается и прямыми опытами. Разбавление спелого бессемеровского чугуна в отражательных печах не только дает возможность попутно перерабатывать рельсовые концы, но, кроме того, оказывает несомненную пользу, сокращая почти вдвое продолжительность операций.

Отсюда мы видим, что ни оно из ставившихся возражений нижнесалдинскому способу бессемерования не выдерживает серьезной критики и подробного химического исследования. Да так оно, конечно, и должно быть, иначе каким же способом Нижне-Салдинский завод мог бы работать рельсы и бессемеровские слитки дешевле всех прочих русских заводов при устройствах и машинах гораздо худших и нередко даже мало удовлетворительных? Очевидно, что причина этому — введение в процесс бессемерования промежуточного подогревания в печах Сименса, честь которого вполне принадлежит К. П. Поленову.

Затем, пользуясь случаем, я сообщу в коротких словах данные о расходе горючего для выделки рельсов, которые, к счастью, не имеют ничего общего с данными, приводимыми для Нижне-Салдинского завода г. переводчиком в его примечаниях к статье Купельвизера: «О сбережении горючего при некоторых заводских процессах» (Горн. журн., 1884, № 9).

На основании результатов деятельности завода за последние три года, с 1885 по 1888 г., можно составить следующую таблицу расхода различных материалов для выделки 100 пудов рельсов.

Для выделки 100 пудов сходных рельсов требуется

слитков 127.5 пуда

которые получаются из:

106.5	пуда	чугуна бессемеровского[1]
35.5	»	ветхости чугунной и концов
0.08	»	ферромангана

Для выплавки 106.5 пуда бессемеровского чугуна потребно:

руды высокогорской	159.75	пуда
» марганцовой	6.4	»

Далее для полной выделки 100 пудов рельсов из руды надо израсходовать горючего:

На обжиг руды	дров	0.21	куб. сажени
На выплавку чугуна	древесного угля	120.8	пуда[2]
На подогрев чугуна в отражательных печах и переработку в них ветхости	дров	0.43	куб. сажени
На разогрев реторты	»	0.038	» »
На два нагрева слитков при прокате . . .	»	0.43	» »

Итого на 100 пудов рельсов горючего: дров 1.02 куб. сажени, древесного угля 120.8 пуда

Кроме того, здесь не введена потребность в горючем для паровых котлов, которые частью работают на доменном газе, частью пользуются теряющимся жаром сварочных печей для подогрева слитков, частью же работают на торфе, сучьях и пнях; цифры эти не приводятся мною, с одной стороны, потому, что материалом для котлов является в высшей степени разнородный, трудно сравнимый материал, главнейше же потому, что в настоящее время сообщить верную цифру сжигаемого для изготовления 100 пудов рельсов горючего под котлами невозможно. Механическое дело в Нижне-Салдинском заводе делает в последнее время такие быстрые успехи, что верных цифр можно ждать только по окончании всех предначертанных и постепенно приводимых в исполнение улучшений заводских машин как паровых, так и гидравлических; переходные цифры не имеют, конечно, никакого интереса.

[1] В процентах: чугуна 74.94%, ветхости и концов 25% и ферромангана 0.06%; количество ветхости и концов может быть увеличено до 35%, судя по годовым отчетам.

[2] Принимая вес короба Нижне-Тагильских заводов в 6 куб. аршин: березового — $26^{3}/_{4}$ пуда, березово-осинового — $24^{1}/_{4}$ пуда, соснового — $18^{1}/_{4}$ пуда и елового — $16^{1}/_{4}$ пуда; цифры вообще скорее высокие, чем низкие.

ПРИМЕЧАНИЕ РЕДАКТОРА

Статья напечатана в «Горном журнале» в 1889 г., в последующие годы она была перепечатана рядом европейских журналов.

Эта статья является первой по времени статьей, выдвинувшей В. Е. Грум-Гржимайло в число теоретиков металлургии и положившей начало его мировому имени. Для нас эта работа имеет принципиальное и историческое значение, так как она устанавливает приоритет и авторство одного из наиболее совершенных процессов бессемерования — так называемого русского бессемерования.

В. Е. не является создателем этого процесса; когда он приехал на Нижне-Салдинский завод, русское бессемерование уже было установлено и прочно держалось на заводе. Временем его изобретения надо считать 1876 г., автором — управителя Нижне-Салдинского завода Константина Павловича Поленова. Но В. Е. в этом вопросе сделал, может быть, не меньше, чем изобретатели самого процесса: он дал ему теоретическое объяснение и доказал всю целесообразность непрямого бессемерования, проводившегося в Нижней Салде и на Обуховском заводе в Петербурге.

Нельзя не обратить внимание на то, что в 80-х гг. прошлого столетия физическая химия еще не являлась основой металлургии как науки. Этим объясняется, что разбор реакций, происходящих в конверторе, произведен В. Е. на основе собственных наблюдений и относительно неглубоких исследований Мюллера. Но, несмотря на все это, понимание процесса и его описание в этой работе настолько глубоки и правильны, что все споры вокруг работы К. П. Поленова должны были прекратиться и русское бессемерование было признано, а качество стали и экономическая сторона вопроса поставили его на одно из первых мест среди других видов бессемерования.

Начало XX века, когда В. Е. впервые применил законы физической химии к объяснению процессов, происходящих в стальной ванне, ознаменовалось крупным шагом вперед на пути оформления металлургии как науки. Ниже, в статье «Основы теории производства стали», дан разбор теории бессемерования не на основании учения о сродстве элементов друг к другу, а на основании законов физической химии, сделанный В. Е. в 1908—1916 гг.

Этот последний разбор глубже прежде всего тем, что он делит реакции на первичные (горение железа) и вторичные (горение примесей). Он сделан В. Е. на основе закона действия масс и дает основу для утверждения, что порядок выгорания примесей и их роль в процессе бессемерования действительно были правильно выявлены и описаны В. Е. в 1889 г.

ЭЛЕМЕНТАРНАЯ ТЕОРИЯ ПОСТРОЕНИЯ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПЕЧЕЙ

Вопрос о проектировании металлургических печей считается до сих пор очень темным.

Происходит это потому, что мы отдаем себе весьма мало отчета в механизме движения печных газов. Стоит только установить точку зрения на печь, как на прибор, в котором газы движутся по законам механики и физики, разобраться в принципах этого движения, и вопрос о проектировании металлургических печей совершенно проясняется.

Из личного опыта я знаю, что, хорошо уяснив себе механизм движения печных газов, каждый из нас сейчас же начинает понимать, что делается в печи; сознательное отношение к печи сейчас же дает материал для наблюдений, выводов и будит воображение, является инициатива улучшений и изменений в конструкциях. Раз данный в этом направлении человеку вдумчивому толчок приносит весьма скоро плоды, делая его хозяином положения в этом весьма важном в заводском хозяйстве вопросе.

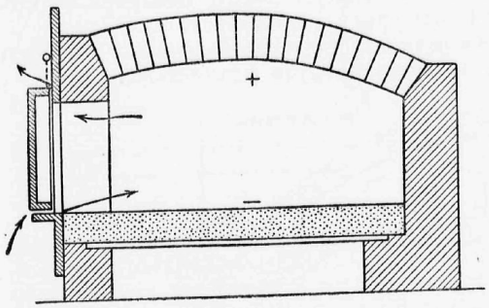
Так было по крайней мере с моими сослуживцами, что дает мне смелость думать, что изложенная на страницах «Горного журнала» эта краткая теория конструкции металлургических печей будет желательным руководством для начинающих заводских деятелей.

Я далек от мысли дать научную теорию печей. Это дело ученых, а не практика-инженера. Моя задача — дать точку зрения на печь, как на механизм, рассчитываемый так же, как и всякий другой; разъяснить царствующий туман и неопределенность понятий в этой области, где все должно быть ясно, просто и логично. Конечно, было бы лучше в этой статье дать математические формулы для расчета и снабдить этот расчет коэффициентами; но это задача очень обширных опытов и исследований, делать которые, служа в заводах, невозможно; нужно посвятить для этого годы заводско-лабораторных работ, а посему, делясь в этой статье выводами заводской практики, мне остается ждать, что инженеры, более свободные и лучше меня теоретически подготовленные, дадут этим выводам научную основу и разовьют полную теорию построения металлургических печей и тем восполнят этот громадный пробел общей металлургии.

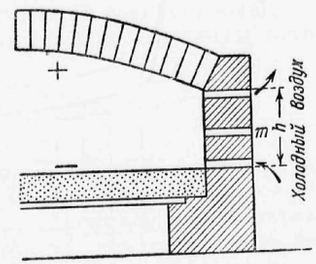
О ТЯГЕ В МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПЕЧАХ

Существует мнение, что самодувные печи работают тягой дымовой трубы. Это большое недоразумение, и первое, что надо себе крепко запомнить, это то, что тягой дымовых труб могут работать только такие печи и приборы, которые не имеют в рабочем пространстве отверстий, прикрываемых заслонками, т. е. рабочих или садочных окон. Например, паровые котлы с замкнутой со всех сторон кирпичной кладкой, самодувные тигельные горны, с плотно прикрываемой крышкой; воздухонагревательные аппараты с чугунными трубами; кауперовские аппараты. Все же печи, имеющие в рабочем пространстве садочные окна, например, отражательные печи, чугуннолитейные, пудлинговые, Сименса всех назначений (сварочные, мартеновские), шплейзофены, кирпичеобжигательные и тому подобные печи работать тягой дымовой трубы не могут.

Для этих печей дымовая труба есть только прибор для удаления из рабочего пространства продуктов горения, для чего совсем не надо колоссальных дымовых труб, как это принято очень часто строить.



Фиг. 1



Фиг. 2

Итак, все печи, имеющие в рабочем пространстве садочные окна или заслонки, работают без тяги. Это надо доказать.

Возьмем какую-нибудь сварочную, пудлинговую или мартеновскую печь (фиг. 1) на ходу и станем наблюдать, как регулирует хороший варовщик или плавильщик тягой в такой печи. Мы всегда увидим неизменно одну картину: так как заслонка прилегает к облицовке печи неплотно, то через верхнюю щель у заслонки всегда выделяется немного пламени. Поэтому, зажегши лучину, мы увидим, что пламя ее отклоняется у верхней щели заслонки наружу; поднесем эту лучину к нижней щели заслонки: увидим, что пламя потянет в печь. Итак, давление в печи у свода выше атмосферного, а у нижнего края заслонки ниже атмосферного.

Если мы в печи (фиг. 2) сделаем два отверстия — одно у пода, а другое у свода, то явление будет совершенно то же. Через нижнее отверстие наружный воздух потянет, а через верхнее из печи выделится язык пламени.

Если в этой печи мы сделаем в середине ее вертикальной стенки одно отверстие, то в него не станет ни засасываться воздух, ни выделяться пламя. На самом деле, явление будет несколько иное: через это отверстие *m* воздух то потянет в печь, то начнет выдавать язычок пламени.

Эти простые наблюдения убеждают нас в том факте, что давление в рабочем пространстве металлургических печей, имеющих садочные окна, в среднем, равно атмосферному. В этом же можно убедиться, непосредственно смерив это давление водяным наклонным манометром.

Да и в самом деле, могли ли бы металлургические печи исправно работать, если бы в полости печи давление было ниже атмосферного?

Конечно, нет. Через садочные окна мартеновских, сварочных или пудлинговых печей стало бы поступать в печь столько наружного воздуха,

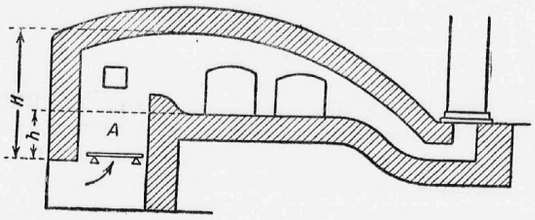
что разрежение, даваемое тягой дымовой трубы, было бы уравновешено, а температура печи понизилась бы, что ухудшило бы ее работу.

Неправильно пропорционированные печи имеют иногда слабое разрежение в полости печей, например в мартеновских печах Алапаевского завода (статья И. Соколова, Горн. журн., 1904), следствием чего бывает избыток воздуха в продуктах горения. Хорошо же спроектированная печь должна иметь во всем рабочем пространстве давление выше атмосферного, чего в самодувных печах нетрудно достигнуть, если только поставить себе такую задачу.

Итак, для понимания работы всяких самодувных печей надо забыть о тяге дымовой трубой. Тяги нет, есть дымовая труба, освобождающая полость печи от отработавших продуктов горения, чтобы дать место новым.

Раз вы поставите вопрос о тяге на такую почву, механизм работы всяких металлургических печей вам сразу станет ясен.

Давление газов в полости печи равно нулю, топка накачивает в полость печи материалы для пламени, а дымовая труба удаляет их.



Фиг. 3

Это относится ко всем печам и ко всем системам топок простых, полугазовых рекуперативных и регенеративных — безразлично. К этому правилу подходят даже печи углевыжигательные Шварца, Пятницкого, кирпичеобжигательные, рудообжигательные и пр. Итак, топка есть нагнетательный насос. Рассмотрим условия его работы. Допустим, что топка *A* (фиг. 3) выполнена газами при температуре около 1200°Ц, следовательно, почти в пять раз легче воздуха. При таких условиях несомненно на каждый элемент воздуха, находящийся вблизи колошников, будет давить со стороны топки столб газов *h* в пять раз более легкий, чем со стороны наружного воздуха, и естественно, что через топку установится ток воздуха под положительным давлением разности весов столба *h* холодного воздуха и горячих газов.

Я беру столб *h*, а не *H*, ибо горячий поток топочных газов надо опустить уже в полости печи обязательно на лещадь печи, а потому при расчете давления, которым газ будет входить в рабочее пространство, надо принимать только высоту *h*. Положительное давление топочных газов, измеряемое высотою столба *h*, расходуется: а) на сопротивление слоя горючего прохождению через него воздуха и газов, б) на придание пламенным газам скорости и запаса живой силы. Этой живой силою пламени в новейших печах пользуются для направления вниз пламени на под печи.

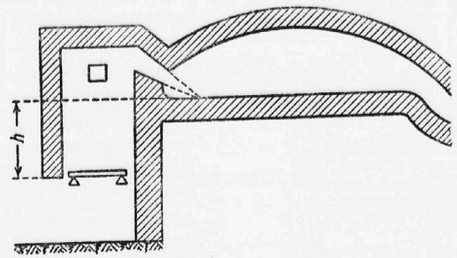
Действительно, мы видели, что через нижний край рабочих окон наружный воздух всегда всасывается в печь, а затем стелется по поду, как тяжелая жидкость в легкой.

Между тем, нагреваемые в печи предметы всегда располагаются на поду (слитки и пакеты в сварочных печах, расплавленный металл в мартеновских печах, шплейзофенах, пудлинговых и прочих печах). Поэтому давать в печах свободу такому холодному току воздуха по поду печи всегда невыгодно. Средством для устранения этого недостатка служат:

а) увеличение живой силы пламени увеличением столба *h*;

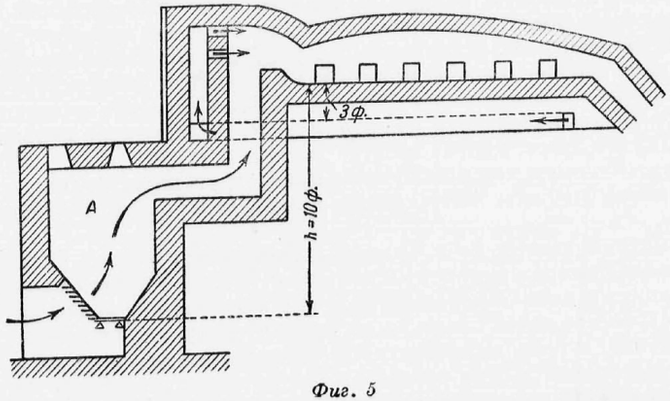
б) крутое направление пламени по выходе из топки на под печи с целью отбить от пода холодное течение всасываемого через заслонку воздуха.

Исправленная таким способом печь получает конструкцию фиг. 4.



Фиг. 4

Увеличение напорного столба *h* дает возможность увеличивать толщину слоя горючего и получать в топке вместо пламени полугаз при более низкой температуре; этот полугаз смешивать в полости печи с дополнительным количеством нагретого в особых каналах воздуха, чем воспользовались гг. Боэциус, Бишеру и др. для создания типов топок своего имени.



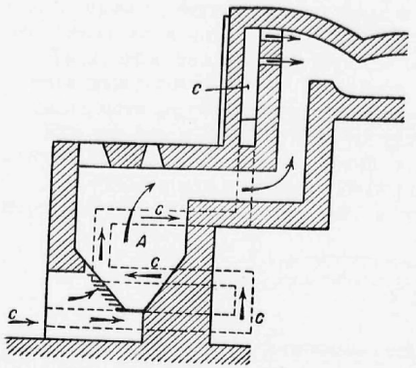
Фиг. 5

Полугазовые топки названных систем нашли особое применение во всех тех случаях, когда от печи требуется быстрая и энергичная работа при повышенной температуре. Пламя в них имеет большую скорость; на единицу объема полости печи в единицу времени топка в состоянии накачать в печь массу газов с очень большим запасом калорий, а потому и не удивительно, что полугазовые топки оказались для печей с высокой температурой гораздо выгоднее топок простых; за простыми топками зато осталась всецело своя область, область печей с ровным невысоким жаром, ленивым и медленным равномерным нагреванием, нужным, напри-

Государственная ордена Ленина БИБЛИОТЕКА СССР им. В. И. ЛЕНИНА

мер, для отжига металла и отливок, для нагревания стальных изделий для закалки, для обжига кирпича и пр.

Итак, мы видим, что в полость печи Бишеру, или, как ее ныне принято называть, перекатной печи, полугаз накачивается из генеративной топки *A* (фиг. 5), причем разность уровней между колосниками топки и подом печи равна 10 футам, что дает газам, поступающим в печь, чрезвычайно сильный напор и большую скорость. Напротив того, подогретый под подом и у задней стенки печи воздух имеет сравнительно весьма умеренный напор, всего 3—4 фута, а следовательно, и небольшую скорость. Такое несоответствие между напором газов и воздуха служит весьма часто причиной, почему эти печи не всегда удается пустить сразу; очень часто печь бывает пересыщена газами, воздуха же в печь поступает слишком мало; поэтому в печи стоит копоть и пыль, греть же она бывает не в состоянии. Чтобы заставить печь хорошо работать, лучше всего несколько изменить ее конструкцию, т. е., пренебрегая нагревом воздуха под подом, заложить воздушные каналы в стенках топки *A* (фиг. 6) и дать ему тоже напор в 10 футов, взяв его из атмосферы на уровне колосниковой решетки. При таком устройстве и газ, и воздух войдут в полость печи под большим напором, что для перекатных печей имеет особенно большое значение, а именно, перекатные печи очень длинны и для удобства перекатки слитков имеют до двадцати и более окошек. Поэтому для хорошей работы печи особенно важно, чтобы в полости ее давление газов было выше атмосферного, чтобы в многочисленные окошечки по возможности засасывалось меньше наружного воздуха. Этого, конечно, легче всего достигнуть, если углубить как можно ниже топку и как можно ниже взять струю подогреваемого воздуха, т. е. усилить энергию накачивания топкой материалов для образования пламени.

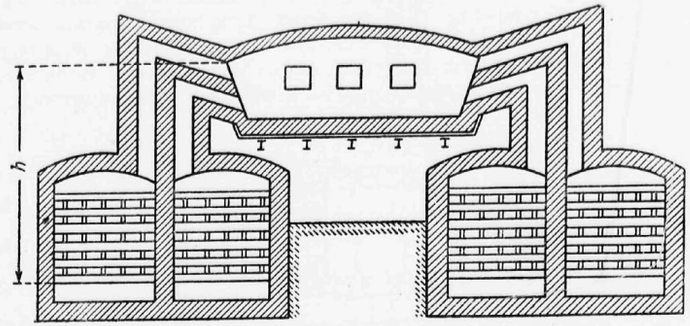


Фиг. 6

Рассмотрим теперь печи Сименса. Как работают те? Оставим пока вопрос о генераторах в стороне и допустим, что газ и воздух из регенераторов подходят к печи Сименса (фиг. 7) при атмосферном давлении. В рабочем пространстве печей Сименса, по предыдущему, должно быть атмосферное давление, и роль дымовой трубы сводится на удаление отработавших продуктов горения. Тогда регенераторы, нагретые до температуры в среднем около 800°Ц, явятся чрезвычайно сильным насосом, накачивающим газ и воздух в печь Сименса с громадной энергией, причем энергия эта тем больше, чем больше величина *h*. Вот причина, почему печи Сименса с регенераторами под печью очень легко сделать: а) работающими в идеальных условиях, т. е. с положительным давлением в рабочем пространстве, б) работающими с очень высокой температурой при сравнительно довольно узких каналах и маленьких перекидных и воздушных клапанах.

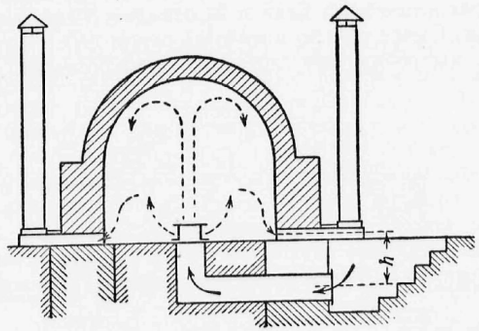
Строители печей Сименса, не отдавая себе ясного отчета в механизме печей, очень часто сильно злоупотребляют в этих печах скоростями, допуская часто невероятные скорости в перекидных клапанах и каналах этих печей. Но конструкция печей Сименса так благодарна, что выносит

даже самое бесцеремонное с собой обращение; вот причина, почему мне не приходилось слышать, чтобы печь Сименса совсем не пошла. Этому типу печей свойственно переносить всякие несообразности в размерах почти безнаказанно, в отличие от обыкновенных отражательных и полугазовых печей, удающихся сравнительно редко.



Фиг. 7

Несколько больший отчет в правильности конструкции этих печей техники стали себе отдавать только в последнее время, при усиленном развитии мартеновского производства, ибо в конце концов всякая ошибка в расчете печи все-таки сказывается в ее работе.

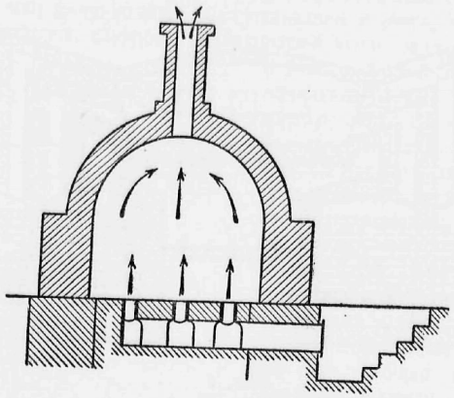


Фиг. 8

Сравнивая различные типы печей Сименса с регенераторами, поставленными рядом с печью и под печью, на основании предыдущего следует вообще отдавать всегда преимущество тем печам Сименса, у которых регенераторы расположены под печью, и вертикальное расстояние *h* достигает своего максимума. Такие печи совсем не нуждаются в дутье, и эта мода шведов ровно ни на чем не основана; так же мало печи Сименса нуждаются и в колоссальных дымовых трубах, как это принято делать не только на юге России, но, к сожалению, начинают делать и на Урале.

Вся роль дымовой трубы в печи Сименса состоит в том, чтобы из рабочего пространства печи, в котором давление равно атмосферному, удалить продукты горения, т. е. опустить их на высоту *h*, протащив через регене-

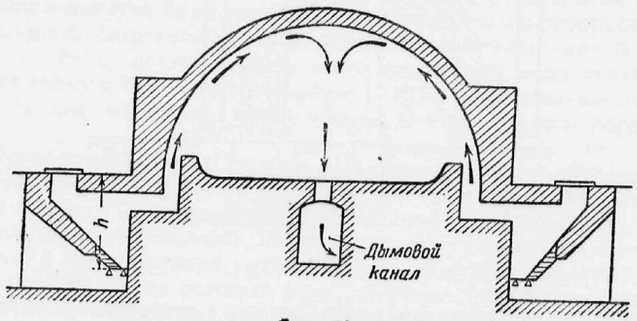
раторы; так как средняя температура регенераторов равна, примерно, 800°Ц, то работа дымовой трубы совершенно определенна: очевидно, разрежение, даваемое дымовой трубой, должно быть несколько больше разности весов столба холодного воздуха при 0°Ц и горячего газа при 800°Ц, высотой h, что легко подсчитывается.



Фиг. 9

Рассматривая другие типы печей, мы увидим, что принципы работы печей углевыжигательных Шварца, Пятницкого и пр. существенно те же.

Все углевыжигательные печи действующих систем относятся к типу печей (фиг. 8) с *положительным* давлением, которое достигается: 1) расположением топки ниже пода печи и 2) отводом дыма не из ключа свода, а на уровне пода. Стоит только изменить отвод дыма и сделать его выше уровня лещади, мы сейчас же получим отрицательное давление в печи



Фиг. 10

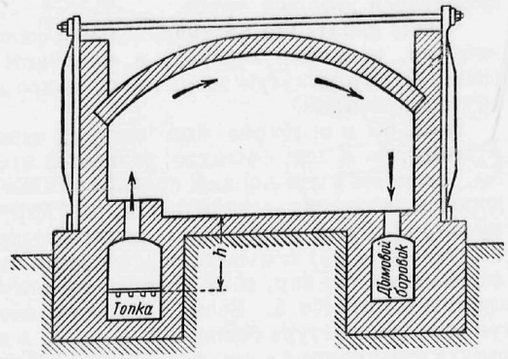
и работа ее станет невозможной: 1) вследствие засасывания через щели наружного воздуха и 2) вследствие неравномерности прогрева всей посадки, о чем смотри ниже.

Наиболее распространенный тип круглых кирпичеобжигательных печей относится тоже к типу печей с положительным давлением. Курьезно, что не так еще давно эти печи имели отверстия в своде (фиг. 9), регулировка которыми представляла наибольшие трудности в обжиге кирпича. Тогда при малейшей оплошности эти печи становились печами отрицательного

давления. Теперь же дым отводится в этих печах на уровне лещади (фиг. 10 и 11), чем избегнута опасность неравномерного прогрева и обжига кирпича (см. ниже).

К тому же типу печей с положительным давлением относятся и печи для обжига динаса прямоугольного сечения, строящиеся на юге Франции.

Итак, этим трем типам печей придана такая конструкция, чтобы затруднить высасывание или тягу трубой, которая почитается вредной для процесса углежжения и обжига кирпичей, что служит наилучшей иллюстрацией основного правила работы металлургических печей: в рабочем пространстве металлургических печей давление газов равно атмо-



Фиг. 11

сферному. Топочные газы и дополнительное количество воздуха, если в нем печь нуждается, входят в рабочее пространство под давлением столба воздуха — высотой, равной разности горизонтов между колосниковой решеткой или приемным отверстием для воздуха и уровнем пода печи. Дымовая труба в металлургических печах должна быть пропорционирована так, чтобы удалять из рабочего пространства отработавшие газы, но никоим образом не должна давать в рабочем пространстве разрежения. Напротив того, надо всегда стремиться работать на металлургических печах так, чтобы в их рабочем пространстве было маленькое положительное давление.

ЗАКОНЫ ДВИЖЕНИЯ ПЕЧНЫХ ГАЗОВ

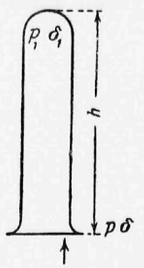
Многие явления в ходе металлургических печей нам делаются ясными только тогда, когда мы усвоим себе взгляд на печные газы, как на жидкость, подчиненную тем же законам гидравлики, как и вода, но отличающуюся от воды тем, что плотность и удельный вес этой жидкости меняются с переменой температуры в чрезвычайно широких пределах.

Физика учит, что коэффициент расширения газов равен $^1/_{273}$. Следовательно, газ, нагретый до 273°Ц, увеличивается в своем объеме в два раза. Газ, нагретый до 546°Ц, увеличивается в объеме в три раза и во столько же раз уменьшается его плотность. При температуре газа в 819°Ц объем его увеличивается в 4 раза, при 1092°Ц в 5 раз, при 1365°Ц в 6 раз, при 1638°Ц в семь раз, и во столько же раз соответственно уменьшается его плотность.

Отсюда станет ясно, что, вводя в печь с температурой 1200—1500°Ц холодный воздух, мы можем получить то же явление, как вливая в стакан с холодной водой самый густой сироп.

Как густой сироп падает на дно стакана, так и холодный воздух очень часто падает на под металлургической печи, чем очень часто разбивает все расчеты проектирующего печь.

В зависимости от громадного коэффициента расширения газов и резкой перемены в плотности их с переменой температуры находится резкая разница в давлении газов внутри металлургических печей, а следовательно, и то явление, которое в простонаречии зовется тягой металлургических печей и совершенно неправильно приписывалось дымовой трубе.



Фиг. 12

Чтобы понять это явление, возьмем какой-нибудь легкий газ, например водород, и наполним им пробирку (фиг. 12), опрокинутую вверх дном. Какое давление будет внутри пробирки?

Если бы в пробирке был воздух, одинаковый с наружным, то в ней, очевидно, разностей давлений не было бы. Если же мы выполним пробирку газом, например водородом, который легче воздуха, то с наружной стороны пробирки будет попрежнему давить воздух, а изнутри вес газа в 14 раз меньший, и равновесие сделается невозможным до тех пор, пока водород не получит упругости $+ {}^{13}/_{14}$ веса воздушного столба h. Если бы вместо водорода в пробирке был воздух при температуре около 300°Ц, т. е. в два раза легче атмосферного воздуха, то упругость его в пробирке равнялась бы $+ {}^{1}/_{2}$ веса воздушного столба h или просто $+ {}^{1}/_{2}\ h$. Напротив того, заполним пробирку углекислотой, удельный вес которой в $1\,{}^{1}/_{2}$ раза больше воздуха. Тогда вес столба углекислоты в пробирке будет в $1{}^{1}/_{2}$ раза больше, чем вес столба воздуха h. Равновесие возможно только тогда, когда давление газов в пробирке будет отрицательное, т. е. углекислота будет разрежена и давление ее будет измеряться $-{}^{1}/_{2}\ h$.

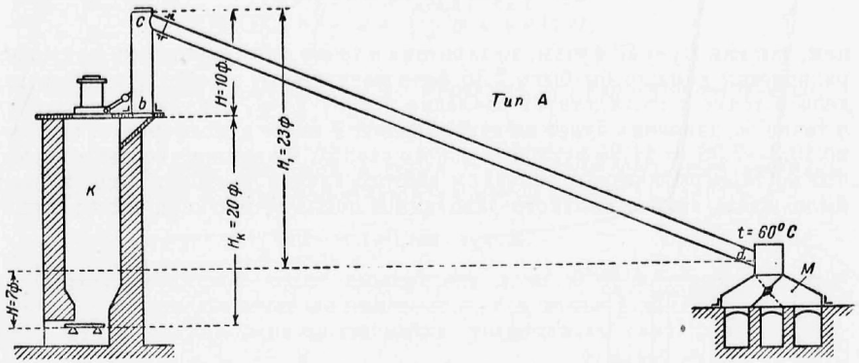
Итак, выполнение всякой полости печи, имеющей некоторую высоту, теплым воздухом или газами сопровождается изменением давления газов в этой полости. Газы получают некоторое положительное давление выше атмосферного, благодаря чему их можно проводить на далекие расстояния, можно заставлять развивать довольно значительную скорость и преодолевать значительные сопротивления трения. Этими же законами объясняется так называемая тяга генераторов, представляющая блестящее применение этой теории и проверенная опытом Алапаевских заводов.

Имеем обыкновенный генератор для дров K (фиг. 13) и в некотором отдалении от него печь Сименса, которая не показана на чертеже, показан только ее главный перекидной клапан M.

Сопротивления на трение не будем принимать в расчет, ибо коэффициенты эти нам пока неизвестны, и рассмотрим механизм движения газа в этом случае.

Обыкновенно генераторы располагают так, что зольник их лежит несколько ниже пола фабрики у перекидных клапанов; такое же расположение показано и здесь. Генератор K имеет высоту до газообразного патрубка H_k, равную 20 футам. Затем (мы потом увидим зачем) газопровод поднят почти вертикально на высоту $H = 10$ футов и после того с уклоном проведен прямо к газовому переводному клапану. Распределение температур таково: внизу генератора 1200°Ц, у колошника 300°Ц, в высшей точке газопровода 200°Ц и у переводного клапана 60°Ц.

Вопрос: с каким давлением придет газ к газовому перекидному клапану M? Давления выразим для простоты в единицах воздушного столба (т. е. за единицу примем вес столба воздуха высотой 1 фут или 1 м, вообще единицы линейной меры). Удельный вес газа для простоты примем равным удельному весу воздуха, в чем большой ошибки не будет. Начнем с генератора. Если внизу генератора температура 1200°Ц, а вверху 300°Ц, то средняя температура газа в нем, примерно, $\frac{1200+300}{2} = 750$°Ц.



Фиг. 13

Плотность газа при 750°Ц равна:

$$1 : \left(1 + \frac{750}{273}\right) = \frac{1}{1 + 2.75} = \frac{1}{3.75},$$

т. е. он в 3.75 раза легче холодного газа при 0°Ц. Поэтому, принимая температуру наружного воздуха в 0°Ц, мы найдем, что, если пренебречь трением в генераторе, то давление газов в точке b будет равно весу воздушного столба H_k минус вес столба газа высотою H_k при температуре 750°Ц, т. е.

$$H_k - \frac{H_k}{3.75} = + \frac{2.75}{3.75}\ H_k = + 0.73\ H_k,$$

или 14.6 фута воздушного столба. Затем газ поднимается по трубе еще на высоту H. Температура его в точке b—300°Ц, в точке c —200°Ц, в среднем 250°Ц. Какое его давление будет в точке c? Очевидно, к давлению в точке c прибавится еще давление столба H минус вес газа высотою H при температуре 250°Ц. Вес газа при 250°Ц в $1 + \frac{250}{273}$ раза менее веса газа при 0°Ц, т. е. в 1.9 раза; поэтому давление газа в точке c возрастет на

$$H - \frac{H}{1.9} = + \frac{0.9}{1.9}\ H = + 0.49\ H,$$

а все давление в точке c будет:

$$0.73\ H_k + 0.47\ H = 14.6 + 4.7 = 19.3 \text{ фута возд. ст.}$$

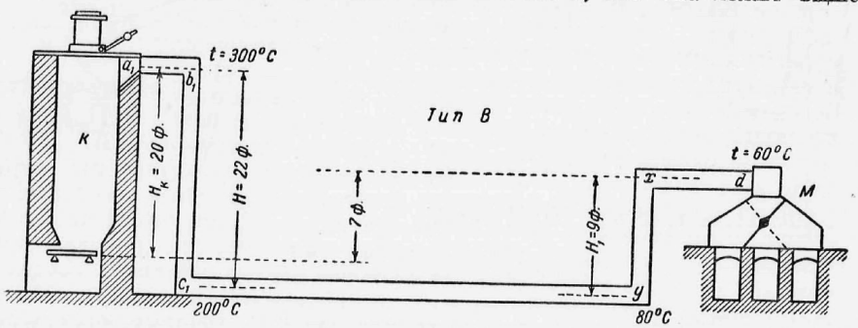
Теперь дальше: газопровод поворачивает вниз и идет к газораспределительному клапану M, лежащему на 23 фута ниже точки c. Рассматривая

эту часть трубы, совершенно самостоятельно определим: какое давление было бы в точке c, если бы эта часть газопровода не имела никакой связи с частью kbc?

Температура в этом газопроводе в точке c — 200°Ц, в точке d — 60°Ц, в среднем $\frac{200+60}{2} = 130$°Ц. Газ этот легче воздуха, а потому для равновесия с окружающим воздухом давление в точке c должно быть:

$$H_1 - \frac{H_1}{1.47} = \frac{0.47}{1.47} H_1 = +0.32\,H_1$$

или, так как $H_1 = 23$ футам, то давление в точке c для соблюдения условия равновесия должно бы быть 7.36 фута воздушного столба. На самом же деле в точке c господствует давление в 19.3 фута, откуда следует, что в точке d давление будет не атмосферное, а выше атмосферного, а именно 19.3—7.36 = 11.94 фута воздушного столба. Из данного чертежа видно, что по топографическим условиям взятого случая расположения нельзя было ждать такого сильного давления в точке d, ибо она лежит выше



Фиг. 14

уровня колосников генератора всего на 7 футов, а потому такое большое давление в точке c в 12 футов кажется парадоксальным. Откуда оно взялось? Ответ очень прост: это давление есть следствие приспособления газопровода к свойству газов при понижении температуры весьма быстро увеличивать свою плотность. Посмотрите один момент на газопровод $kbcd$, как на сифон: в колене kbc поднимается газ при высокой температуре, т. е. когда он еще легок, в колене cd он опускается, когда он остыл и сделался тяжелым; очевидно, часть газа в колене cd будет гораздо тяжелее части kbc, и сифон при таком устройстве начнет работать гораздо энергичнее того же сифона, наполненного газом, не меняющим своей плотности. Что это так, весьма легко доказать, оставив то же расположение генератора и печи и изменив только конструкцию газопровода.

Имеем тот же генератор (фиг. 14) и так же расположенный газовый перекидной клапан M. Но в расположении трубчатого газопровода сделаем разницу: по выходе газопровода из генератора сразу опустим его на горизонт лещади генератора, поведем и дальше горизонтально, а у самого газового клапана поднимем кверху. Температуры в нем будут такие же, как в прежде разобранном случае: по выходе из генератора в точке a_1 — 300°Ц, в точке c_1 — 200°Ц, в точке x — 80°Ц, в точке d — 60°Ц.

По предыдущему, в точке a_1 будет положительное давление газов + 14.6 фута воздушного столба.

Какое давление будет в точке c_1? Температура в трубопроводе b_1c_1 будет $\frac{300+200}{2} = 250$° Ц.

Газ при этой температуре легче холодного газа в $1 + \frac{250}{273} = 1.9$ раза.

Если бы часть b_1c_1 газопровода в точке b_1 была выделена от генератора, то для равновесия с воздушным столбом H в точке b_1 должно быть давление:

$$H - \frac{H}{1.9} = + \frac{0.9}{1.9} H = + 0.47\,H,$$

так как H в этом случае равно 22 футам, то это давление выразится:

$$0.47 \cdot 22 = 10.12 \text{ фута возд. ст.}$$

На самом деле, давление в точке $b_1 = +14.6$ фута, следовательно, давление в точке c_1 будет выше атмосферного и равно:

$$14.6 - 10.1 = 4.5 \text{ фута возд. ст.}$$

В горизонтальной части газопровода хотя и происходит охлаждение газа, но его давление не изменяется, и в точке y давление остается тоже $4\,^1/_2$ фута. В колене xy газ опять увеличивает свое давление, но незначительно, ибо температура газа здесь всего $\frac{80+60}{2} = 70$°Ц.

Плотность газа $1 + \frac{70}{273} = 1.24$, т. е. он в 1.24 раза легче холодного газа. Упругость же газа увеличивается на

$$H_1 - \frac{H_1}{1.24} = \frac{0.24}{1.24} H_1 = + 0.2\,H_1,$$

а так как H_1 по чертежу равно 9 футам, то давление в x будет больше, чем в точке c_1 на $0.2 \times 9 = 1.8$ фута воздушного столба, а всего будет:

$$4.5 + 1.8 = 6.3 \text{ фута возд. ст.}$$

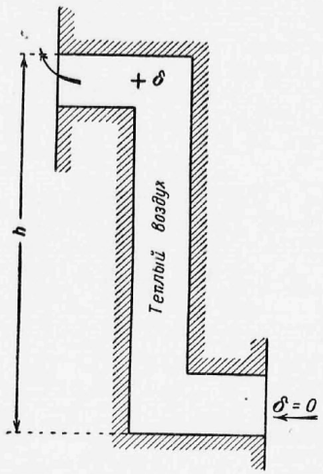
Припомним, что при первом расположении газопроводов давление в точке d определилось в 11.94 фута воздушного столба, т. е. почти вдвое против второго, между тем устройство генератора, его расположение, расстояние до печи, диаметр газопровода — все осталось то же самое, между тем «тяга» генераторов в первом случае в два раза больше, чем во втором!

Отсюда мы видим, как важно сознательное отношение даже к таким кажущимся мелочам, как устройство газопровода.

Чтобы не загромождать изложение излишними подробностями, я сделал произвольное предположение, что удельный вес газа равен удельному весу воздуха, что, конечно, неверно: обыкновенно сухой газ процентов на десять легче воздуха; затем я не принял в расчет влажности. Пары воды значительно усиливают указанную роль устройства газопроводов, ибо в горячей части газопровода делают газ еще легче, а в холодной части газопровода они обращаются в воду; но все эти упрощения расчета, конечно, нисколько не влияют на верность вывода; если же дело дойдет до проектирования генератора, то тут, конечно, такие упрощения допускать невозможно.

О ВОСХОДЯЩЕМ И НИСХОДЯЩЕМ ТОКЕ ГАЗОВ

Из предыдущего очевидно, что если в печи имеется вертикальный канал (фиг. 15), выполненный теплым газом или воздухом, и если давление газа внизу этого канала у входного отверстия равно атмосферному, то вверху этого канала теплый воздух или газ получит некоторое положительное давление, равное разности веса столба наружного воздуха и веса столба теплого газа или воздуха. Отсюда очевидно, что естественное движение в таком канале возможно только в одном направлении снизу вверх. Изобретатели всяких новых печей весьма часто забывают это элементарнейшее правило конструкции печей и частенько на чертежах заставляют воздух принимать самые диковинные направления. Результат всегда, конечно, бывает один: природа берет свое, и теплый воздух не слушается приглашений гг. изобретателей идти указанным путем, а к удивлению прожектеров выбирает себе совершенно для них неожиданный путь.



Фиг. 15

Пример такого неудачного изобретения был лет двадцать тому назад. Был построен шплейзофен. Строителю жаль было отпустить теряющийся жар в дымовую трубу. В паровом котле особой нужды не было, и вот было придумано пропустить дым по железной трубе, а снаружи пустить навстречу дыму холодный воздух.

Предполагалось, что холодный атмосферный воздух войдет через отверстие *a* (фиг. 16), опустится до отверстия *b* и по трубе *bdc* пройдет в зольник шплейзофена и повысит, таким образом, на теплом воздухе эффект топки. Конечно, действительность показала противное: как только труба нагрелась, воздух в кожухе *ab* принял как раз обратное направление.

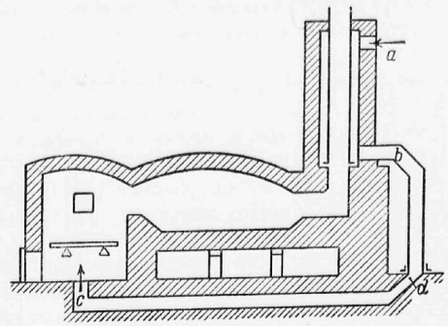
Итак, при проектировании каких-либо ходов для горячего воздуха или газа надо всегда руководствоваться одним правилом:

Нагреваемый воздух или газ, поднимаясь на некоторую высоту, так сказать, набирает упругость и давление. Чем выше мы его проводим, тем больше будет его положительное давление. Напротив того, опускаясь на некоторую глубину, горячий газ или воздух теряет свою упругость, а опустить горячий газ или воздух, имеющий атмосферное давление, можно не иначе, как дав ему искусственно соответственное разрежение, например при помощи дымовой трубы.

Мы видели, что в полости рабочего пространства металлургических печей господствует атмосферное давление, и тяга дымовой трубы не распространяет своего влияния на переднюю часть печи и топку; посему естественно, что во всех топках пролеты для воздуха и газов имеют всегда восстающее направление; двигаясь кверху, горячие газы набирают положительное давление, необходимое для развития большой скорости, с которой газы должны вступать в рабочее пространство печи.

Напротив того, газы задней части печи, ближе к дымовой трубе, могут иметь какое угодно направление; очень часто также восстающее направление, но еще чаще им дают нисходящее направление, спускают

их в рекуператоры или регенераторы на большую глубину при помощи разрежения дымовой трубой.



Фиг. 16

Чтобы использовать теряющуюся теплоту в рекуператорах, струя горячих газов делится на несколько частей, почему мы и перейдем к следующему параграфу.

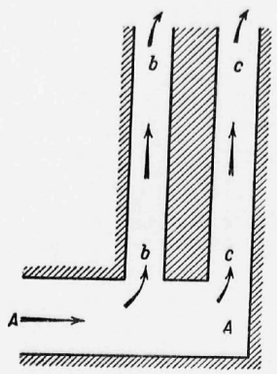
О ДЕЛЕНИИ ПОТОКОВ ТЕПЛЫХ ГАЗОВ

Допустим, что имеем на фиг. 17 поток теплого газа или воздуха *AA*; он разделен на два восстающих канала *bb* и *cc*; сравним работу этих двух восстающих ветвей с работой двух нисходящих ветвей *nn* и *pp*, на которые делится поток *MM* (фиг. 18). Приняв, что размеры каналов *AA* и *MM*, давление в потоках и их температура одинаковы, а также и устройство каналов *a*, *b*, *n* и *p* совершенно идентично, посмотрим, будут ли потоки *AA* и *MM* делиться в каналах восходящих и нисходящих на равные части?

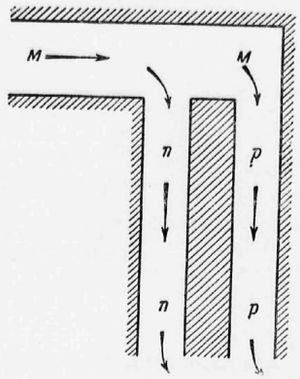
Или поставим вопрос иначе: можно ли гарантировать, что при делении потока на *восходящие* ветви обе ветви потока будут работать одинаково? Точно так же: можно ли быть уверенным, что при делении потока на *нисходящие* ветви обе ветви потока будут работать одинаково?

Легко видеть, что в первом случае, при делении горячего потока на две восходящие ветви, нельзя ручаться, что ветви будут работать одинаково; даже, лучше сказать, можно поручиться, что при таком делении обе ветви будут работать всегда различно, и даже возможен такой случай, что весь поток *AA* пойдет по одной ветви *bb*, а по ветви *cc* установится нисходящий поток (фиг. 19). Такой именно случай был в моей личной практике. Устанавливая новую группу аппаратов Каупера в Нижне-Салдинском заводе на уровне лещади домен, я пришел к выводу, что для того, чтобы спустить доменный газ на уровень лещади доменных печей без заметного увеличения давления в трубах доменного газа, мне придется иметь — для новой группы аппаратов Каупера дымовую трубу гораздо большей силы, чем для старой группы аппаратов Каупера, поставленной на 20 футов выше. Делать трубу большого диаметра и высоты мне не хотелось, а потому я решил из общего дымового, для трех кауперовских аппаратов, боровка сделать две дымовых трубы по концам его, что на чертеже выходило даже очень недурно (фиг. 20).

Каково было мое удивление, когда при пуске аппаратов в ход одна из дымовых труб не только не стала совсем тянуть, но в ней установился даже обратный ток холодного воздуха, как в каком-нибудь руднике с двумя шахтами. Пришлось эту трубу заложить и тем заплатить за этот довольно дорогой урок.

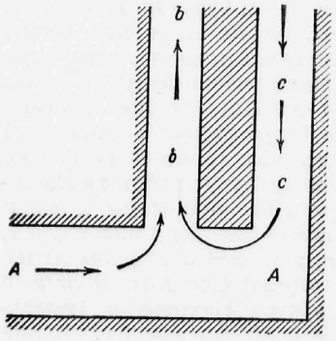


Фиг. 17

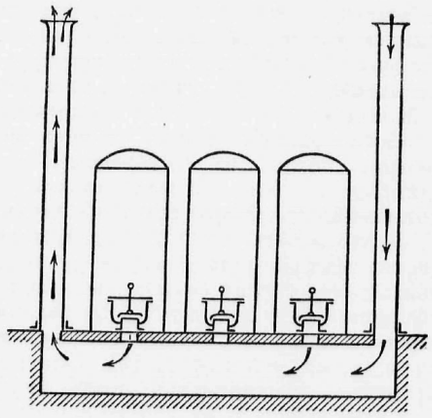


Фиг. 18

Этот опыт показывает, что при делении потока теплого газа на две восстающие ветви нельзя быть гарантированным в равномерной работе обеих ветвей; мало того, можно сказать наверное, что одна ветвь будет работать энергичнее другой.



Фиг. 19



Фиг. 20

Действительно, допустим, что поток *A* разделился совершенно правильно на два потока *bb* и *cc*. Но такое положение будет неустойчиво. Если есть хоть какая-нибудь самая маленькая разница в этих двух ветвях и одна ветвь, скажем *bb*, хотя немного сделается сильнее другой, то температура этой ветви *bb* сейчас же сделается выше, газовый столб *bb* сделается легче столба *cc*, чем неравенство обеих ветвей в условиях движения увеличится,

и по ветви *bb* пойдет больше теплых газов, отчего температура столба *bb* еще увеличится, вес его еще уменьшится, он заберет еще бо́льшую силу, и, наконец, может случиться, что произойдет то явление, которое имело место у меня при устройстве двух дымовых труб из одного борова.

Таким образом, если есть нужда какой-либо поток теплого воздуха или газа разделить на две или несколько ветвей, то никоим образом *нельзя делить* этот поток *на две или несколько восстающих ветвей*, ибо деление будет совершенно неправильно.

Совершенно обратное явление представляют нисходящие ветви *nn* и *pp* потока *MM* (см. фиг. 18). Допустим, что эти две нисходящие ветви заведомо неравны между собою, например, ветвь *nn* сильнее ветви *pp*. Тогда температура ветви *nn* будет выше, чем ветви *pp*, и опуститься ей будет труднее, чем столбу *pp*, отчего ветвь *nn* начнет ослабевать, а ветвь *pp* усиливаться до полного равенства обеих ветвей.

Итак, *при делении потока теплого воздуха или газа на нисходящие ветви, температура всех нисходящих ветвей будет всегда одинакова, а деление ветвей вполне равномерное*. Это драгоценное качество нисходящих потоков имеет главенствующее значение в металлургических и всяких других печах. К сожалению, это основное правило конструкции металлургических печей, прекрасно известное всякому печнику (ибо никогда никто из них не станет делить общий дымоход на восстающие колодцы, а обязательно на нисходящие), весьма часто остается неизвестным многим знаменитым металлургам и изобретателям. Если бы это было не так, то, конечно, многие устройства и патенты никогда не видели бы света и приводились бы в курсах металлургии только как образцы нерационального устройства, а не как устройства, заслуживающие внимания. Замечательно, что жизнь бракует устройства гораздо правильнее, и на практике получают распространение только те печи и приборы, которые построены на разумном принципе. Для иллюстрации сказанного положения приведу несколько примеров.

1. Из воздухонагревателей с чугунными трубами, требующими крайне равномерного нагревания, получил распространение единственный тип завода Бессеж. Весь успех этого аппарата зависит всецело от того, что все проходы из камеры в камеру для пламени в этом аппарате сделаны на уровне пода аппарата; таким образом, в каждую камеру поток пламени принужден войти на уровне пода; если камера холодна, продукты горения подымутся кверху, выполнят камеру горячими газами и затем пройдут низом в следующую.

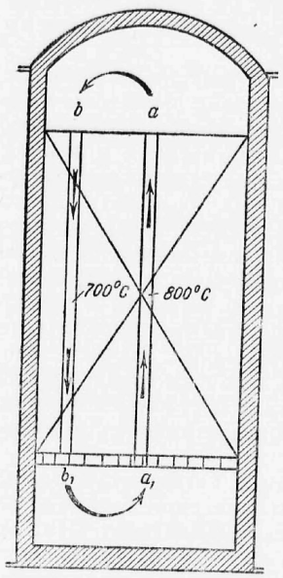
Таким образом, все трубы стоят в атмосфере неподвижного жара; пламени нигде не дано возможности подняться кверху языком повышенной температуры и сосредоточить сильный жар в одной, двух трубах, к чему пламя, идущее кверху, весьма склонно по указанной выше причине. Стоящий в камерах жар не пускает пламя кверху в виде резких языков, чем и достигается равномерное прогревание труб.

Все приборы Кальцера, пистолетный, вассеральфингельский и пр. грешны отводом пламени сверху, что способствовало развитию в пламени отдельных вертикальных языков или струй, сжигавших трубы.

2. Единственным до сего времени разумным каменным воздухонагревательным аппаратом является аппарат Каупера. Он имеет вертикальную сожигательную камеру, где происходит смешение газа с воздухом и развивается пламя; реакции его полностью завершаются под куполом аппарата. Затем продукты горения разделяются насадкой решетки на весьма значительное количество *нисходящих* струй, которые в силу только того, что они нисходящие, прогревают решетку с идеальной равномерностью.

Как признак неясного понимания работы этого дивного аппарата является «*усовершенствование*» (!) его Бекером, который, якобы, добивается равномерности прогревания решетки, различной величины ее ячеек.

Очевидно, весь патент Бекера есть сплошное недоразумение, ибо по законам природы решетка Каупера не может прогреваться неравномерно, а если бы, упаси бог, она и прогрелась не совсем равномерно, то при охлаждении решетки воздухом горячие ячейки начали бы усиленно функционировать и тем понизили бы свою избыточную температуру. Чтобы убедить читателя, что это так, представим себе в разрезе решетку аппарата Каупера (фиг. 21) и допустим, что средняя температура канала aa_1 800°Ц, а bb_1 700°Ц. Представим себе, что аппарат не работает, т. е. не греется и не нагревает воздуха, и тока нагреваемого воздуха и пламени в нем нет. Какие движения будут в аппарате? Очевидно, вес столба bb_1 при температуре 700°Ц будет больше веса столба aa_1 при температуре 800°Ц, и равновесие в этих двух каналах нарушится; столб bb_1 начнет падать вниз, а aa_1 вытесняться кверху. Горячие ячейки начнут охлаждаться, а холодные нагреваться до тех пор, пока средняя температура столба aa_1 не сравняется с температурою столба bb_1.



Фиг. 21

Придайте теперь этому аппарату общее движение потока горячих газов сверху вниз во время его нагревания доменным газом. Что произойдет? Очевидно, частная вышеописанная циркуляция внутри аппарата и тут сыграет свою роль, т. е. холодная ячейка bb_1 начнет усиленно работать, а горячая aa_1 станет работать менее энергично.

Пустите в аппарат в обратном направлении снизу холодный воздух. Очевидно, энергично начнет работать ячейка aa_1, а менее энергично bb_1.

Итак, мы видим, что Бекер усовершенствовал то, что усовершенствованию не подлежало, ибо и так вполне совершенно.

3. Так же неудачно совершенствовал и Шенвельдер регенераторы мартеновских печей, разделив их на две камеры и снабдив их заслонками. По самой своей сущности регенераторы, прогреваясь нисходящим током газов, не могут прогреваться неравномерно, а потому все изобретения Шенвельдера есть ни на чем не основанное усложнение идеальной по конструкции печи Сименса.

4. Исходя из изложенной теории нисходящих и восходящих потоков горячих газов, легко понять неудачу воздухонагревательных аппаратов Витвеля, Массика и Круга и, наконец, первых аппаратов Кеннеди.

Аппараты Витвеля, Массика и Круга грешат тем, что нагревающее их пламя поочередно то поднимается, то опускается. Когда пламя опускается, оно опускается равномерно и прогревает стены каналов равномерно. Когда оно поднимается, то оно всегда выберет себе какой-нибудь излюбленный путь, прогреет его и им пойдет, отчего все отделение аппарата, где пламя поднимается, не может прогреться равномерно. Когда затем в это отделение будет пущен воздух, который по нему начнет спускаться, то он, конечно, предпочтет спускаться по более холодной части

отделения, чем еще больше остудит холодные части этого отделения и увеличит неравномерность его температуры. Таким образом, те части аппаратов с перегородками (Витвеля, Массика и Круга), в которых пламя идет кверху, работают неудовлетворительно, тогда как аппараты Каупера во всех частях работают идеально, почему на практике получили всеобщее распространение.

5. Еще менее рационально изменение аппаратов Каупера американцем Кеннеди (атлас М. А. Павлова, табл. 89). Он придумал греть регенеративную решетку аппаратов снизу тремя газовыми топками, удаляя дым через купол аппарата. Воздух же пропускать, как в аппарате Витвеля, через три отделения, заполненные решеткой. Очевидно из предыдущего, что регенеративную решетку снизу прогреть равномерно невозможно; греть воздух, направляя его по горячей решетке сверху вниз, тоже неразумно; наконец, в этом аппарате нет принципа обратного течения, что все вместе заставляет думать, что этот аппарат хорошо работать не может.

Второе изменение Кеннеди аппаратов Каупера (Павлов, табл. 90), где Кеннеди оставил принципы Каупера ненарушенными, гораздо лучше. Очевидно, и сам этот плодовитый американский изобретатель убедился, что первое его видоизменение аппаратов Каупера погрешило против логики.

6. Итак, если нам дана задача нагреть равномерно какую-либо регенеративную решетку, то ее надо нагревать, направляя пламя сверху вниз. Если нужно нагревать, пропуская через решетку воздух, его надо обязательно пускать снизу вверх. Отсюда ясно, что все попытки устраивать регенераторы печей Сименса, в которых каждый регенератор состоит из двух отдельных камер, устроенных так, что в одной пламя идет сверху вниз, а в другой снизу вверх, работать хорошо не могут.[1] То же самое можно сказать о всех регенераторах, в которых решетку старались заменить перегородками, как в аппаратах Витвеля; в этом случае все отделения с восстающим направлением пламени всегда будут плохо работать.

7. В последнее время начинают сильно распространяться лежачие регенераторы такого устройства (фиг. 22).

Очевидно, что эти регенераторы должны работать равномерно, что явствует из того, что всякой частице отработавших в печи Сименса газов предстоит исполнить одну работу: спуститься с горизонта AA_1 на горизонт BB_1; каждая частица может это сделать или в воздухе впереди решетки, или в пазухе сзади решетки, по своему выбору; однако, так или иначе, а все же эту работу, одинаковую в обоих случаях, исполнит.

Практика показывает, что расчеты оказываются правильными, и действительно, регенераторы этой системы работают весьма равномерно, несмотря на то, что они лежачие.

Итак, из предыдущего учения о восстающих и нисходящих струях следует одно правило устройства металлургических печей. Если поток газа должен быть охлажден, то ему следует давать нисходящее направление. Если поток газа должен быть нагрет, то ему следует давать восстающее направление. Отступления от этого правила вызовут всегда неудовлетворительную работу устройства.

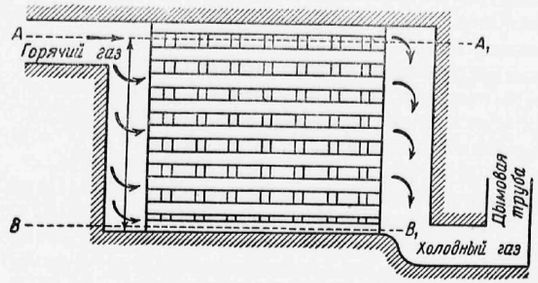
8. Вот случай из моей личной практики: в 1892 г. я построил генератор для торфа с конденсатором с водяными ящиками. Типом мною был выбран генератор завода Верциля, топку которого я изменил, воспользовавшись

[1] Такая печь имеется в Алапаевском заводе и работает очень плохо.

идеей завода Фагерста заменить чугунные колосниковые брусья таковыми же с водяным охлаждением.[1] Помещенный в «Горном журнале» в 1893 г. чертеж этого генератора послужил образцом для подобных устройств в других заводах и попал в мартеновский атлас профессора Павлова.

Между тем, я сделал в устройстве конденсатора *крупнейшую ошибку*, «усовершенствовав» взятый мною шведский тип генератора.

Охлаждаемому мною ящиками с водой газу в конденсаторе дано восстающее направление, что совершенно неправильно.



Фиг. 22

Заметив эту ошибку, я переделал тот же конденсатор и дал охлаждаемому газу нисходящее направление в отделении с холодильниками; результат сказался сразу, ибо температура холодного газа немедленно пала на 10—15°Ц.

Отсюда следует, что надо всегда относиться с крайней осторожностью к изменению выработанных жизнью типов устройств, пока вполне не усвоишь себе основных законов движения горячих газов.

Возвращаясь к газопроводам, я должен указать, что писанный мною тип *А* газопровода на стр. 48 представляется идеальнейшим устройством для охлаждения генераторного газа и удаления воды из него и нашим уральским заводам, работающим на растительном топливе, особенно рекомендуется устройство газопровода этого типа, ибо газ охлаждается идеально в его нисходящем колене.

О ПРИМЕНЕНИИ НИСХОДЯЩЕГО ПЛАМЕНИ В КИРПИЧЕОБЖИГАТЕЛЬНЫХ ПЕЧАХ

Выгодами нисходящих потоков особенно воспользовались конструкторы кирпичеобжигательных печей, фиг. 10 и фиг. 11. Как известно, развитие в последние 20 лет мартеновских печей поставило на очередь вопрос об обжиге динаса. Вероятно немногим моим читателям известно, что:

1) хороший динас не должен был выделываем из химически чистого кварца, а напротив, к такому кварцу полезно прибавлять менее чистый огнеупорный кварцевый песок;

2) обжиг динаса не должен вестись при очень высокой температуре; должно обжигать динас медленно, коптящим пламенем, поднимать температуру печи осторожно и только заканчивать ее белокалильным жаром.

[1] Чугунные призмы были заменены просто водопроводными трубами, по которым циркулирует вода.

Идеальный динас получается часто попутно при продолжительном накаливании (2—3 месяца) кварцевого кирпича в регенераторах мартеновских печей при температуре не свыше 1200—1300°Ц.

Написанные строки настолько противоречат ходячим мнениям о «чистоте динаса и о необыкновенной температуре обжига, которому он подвергается», что спешу дополнить их следующими наблюдениями.

Микроскопические шлифы из кварцевого кирпича или динаса показывают, что идеально обожженный динас сложен из чрезвычайно ясно образованных кристалликов тридимита. Динас, обожженный хорошо, но все же не идеально, состоит из стекловидной массы с редкими выделениями тридимита; динас, обожженный удовлетворительно, состоит из стекловидной массы, в которой изредка разбросаны части кристаллов кварца; плохо обожженный динас состоит из одних обломков кристаллов кварца.[1]

Сообразно с таким минералогическим составом динаса находится и его удельный вес. Удельный вес плохо обожженного динаса, примерно, равен удельному весу кварца (мною определен 2.56), наилучше обожженный динас приближается к удельному весу тридимита (мною определен 2.18), т. е. динас по мере обжига теряет в своем удельном весе и увеличивается в объеме.

Итак, во время обжига минералогическая масса динаса, состоящая из кварца, маленькой примеси глины, извести и окислов железа, должна переработаться постепенно в стекло, которое затем выделяет из своей массы кристаллы тридимита, представляющего конечный результат обжига. Для такой перекристаллизации всей массы кирпича прежде всего нужно время и медленное повышение температуры, ибо прежде всего должен образоваться легкоплавкий шлак или стекло, состоящее из примесей к кварцу: извести, окислов железа, глины и кремнезема; это легкоплавкое стекло располагается между зернами кварца и начинает медленное его растворение и переработку в кристаллы тридимита. Только динас, обожженный медленно, представит из себя, так сказать, кристаллическую тридимитовую горную породу и будет обладать всеми свойствами великолепнейшего строительного материала: громадным сопротивлением на раздавливание, звонкостью и неизменяемостью объема при дальнейшем накаливании, кроме естественного расширения от теплоты. Если же мы тот же динас-сырец подвергнем быстрому накаливанию пламенем высокой температуры, то получим кирпич из аморфной массы. Кирпич окажется весь разбит трещинами, увеличится сильно в объеме, будет рыхл и никуда негоден как строительный материал.

Из этого отступления читателю ясно, что построить печь для обжига динаса задача очень трудная. Надо создать атмосферу ровного жара во всей полости кирпичеобжигательной печи, причем температура полости кирпичеобжигательной печи должна возрастать медленно, но неуклонно. Кроме того, надо обеспечить печь от возможности развития в полости печи языков пламени температуры более высокой, чем вся окружающая атмосфера, т. е. надо избегнуть в печи *колючего* пламени, как зовут немцы, а добиться *томильного жара*.

[1] Кварц от тридимита так резко отличается в поляризованном свете, что спутать их невозможно. Кварц вследствие вращения плоскости поляризации окрашивается в яркие цвета, тридимит же в поляризованном свете представляет, повидимому, двойниковые призматические кристаллы, одна половина которых темнеет, в то время как другая имеет чисто белый цвет.

Такие требования предъявляются к печам не только производством динаса; напротив того, печи для закалки орудий, особенно брони, для нагрева крупных слитков, для нагрева пар кровельного железа, а также отжига листов и вторичного их нагрева и многие другие производства также требуют томильного ровного жара. Средством удовлетворить всем этим требованиям является нагревание полости печи нисходящими потоками пламени. Тип этих печей всегда один: пламя обыкновенной шуровки или подогретые в регенераторах газ и воздух вводятся в печь через отверстия у стенки несколько выше лещади; пламени дается полная свобода подняться прямо к своду печи; там, у свода печи, пламя, касаясь раскаленных поверхностей его, заканчивает все реакции соединения остатков кислорода воздуха с остатками горючих газов; это дожигание пламени в присутствии раскаленных стенок свода есть существенное условие, гарантирующее дальнейшую работу раскаленных газов от появления колючих языков высокой температуры.

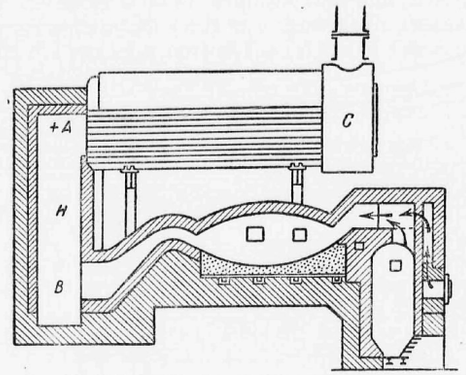
В противоположность обыкновенным пламенным печам, страдающим обыкновенно громадным избытком кислорода, а часто и одновременным присутствием в дыме окиси углерода, водорода и свободного кислорода, т. е. незаконченностью реакций, печи с нисходящим потоком пламени кончают у свода свои реакции удивительно чисто, и при умелом управлении печью содержат только следы свободного кислорода при полном отсутствии горючих элементов. Таким образом, пространство под сводом печи выполняется сильно раскаленными газами, имеющими температуру около тысячи или более градусов, удельный вес коих в несколько раз легче воздуха. Давление этих газов поэтому гораздо выше атмосферного, и в отверстие, сделанное у свода печи, выделяется всегда длинный язык пламени. Так как печам этого типа придается обыкновенно значительная высота в рабочей полости, то в конце концов раскаленные газы, выполняя пространство под сводом, теряют свою скорость и почти останавливаются.

Получается такое же явление, как в небольшой речке с значительным омутом, в котором вода почти не имеет течения. Стоящий в печи жар расходуется: а) на внешние потери и б) на нагревание посаженных в печь материалов. Остывшие струи увеличивают свой относительный вес и падают на под печи, а вместо них из топки поступают все новые и новые струи горячего пламени. На поду печи у стенки, противолежащей топочной, располагаются обыкновенно одно или несколько дымовых отверстий, собирающих с пода остывшие продукты горения и уводящих их тягою дымовой трубы вон из печи. Если мы смерим давление газов у лещади, то оно или равно атмосферному, или является слабо отрицательным. Несомненно, что прокалится прежде всего верхняя часть насадки кирпича, затем, по мере работы печи, раскаленный слой газов будет делаться все толще и толще и выполнять все бóльшую и бóльшую часть печи, жар начнет спускаться все ниже и ниже и, наконец, спустится на самый под печи. Тогда-то задают самый сильный жар и затем шуровку останавливают.

Обжиг костров кирпича в общем весьма ровен, хотя, конечно, верхние слои кирпича обыкновенно обожжены все же лучше, чем на поду печи. Этот недостаток исправляют тем, что на самый под печи садят два-три ряда шамотного или резанного кварцево-глинистого кирпича, не требующего для своего обжига столь сильного и продолжительного жара, как динас. В общем же весь успех изготовления динаса заключается в продолжительности обжига, так называемом *томлении* динаса сильным жаром.

О СОЖИГАТЕЛЬНОЙ КАМЕРЕ

При описании кирпичеобжигательных печей я уж упоминал о роли сожигательных камер как одного из самых важных элементов правильного развития пламени. Чтобы хорошо использовать теплоту, несомую элементами пламени, необходимо, чтобы реакция горения шла чисто, т. е. 1) чтобы в продуктах горения не оставалось окиси углерода, водорода или сажи, и 2) чтобы не было избытка воздуха. Поэтому все устройства, где пламени не дают развиться и стараются поместить поближе к пламени холодные предметы, например, части паровых котлов, чугунные трубы воздухонагревательных аппаратов, дабы использовать, как говорили в прежнее время, лучистую теплоту пламени, должно считать устройствами ошибочными. Мне лично доводилось исправлять совершенно неудовле-



Фиг. 23

творительную работу одного воздухонагревательного аппарата, в котором в погоне за большой нагревательной поверхностью чугунных труб стеснили размеры сожигательной камеры так, что пламя доменного газа не могло удовлетворительно развиться в аппарате. Убрав один ряд чугунных труб, я использовал освободившееся место и устроил хорошую сожигательную камеру, после чего аппарат стал работать вполне удовлетворительно.

Если время от времени контролировать себя анализами дыма прибором Орса́, то весьма легко получить опытность в распознавании характера пламени и выучиться вести сожигание газа в сожигательных камерах и печах так, чтобы получать идеальное горение, при котором продукты горения состоят только из углекислоты, паров воды, азота и следов кислорода воздуха. Такие занятия с прибором Орса́ полезны всякому металлургу, ибо воспитывают глаз и учат не только смотреть в печь, а и *видеть* кое-что в печи и судить о ее работе.

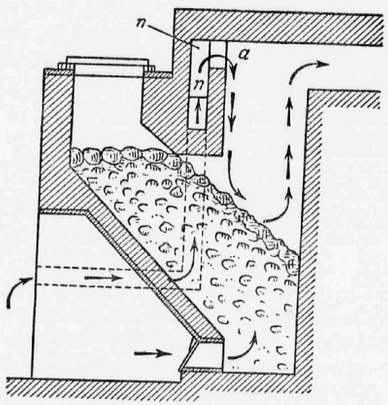
Сожигательные камеры следует устраивать не только при газовых топках, но они очень полезны при котлах, утилизирующих теряющийся жар. При открытых заслонках отработавшее в пудлинговых печах или в перекатных печах пламя несет с собой громадное количество копоти. Если пропустить его прямо под котел, то на котле сядет масса сажи и котел вообще будет работать неудовлетворительно. Напротив того, в сожигательной камере такое пламя очень часто совершенно осветляется, так как в ней оканчиваются реакции горения элементов пламени.

Весьма удачной конструкции сожигательная камера дана в Алапаевском заводе пудлинговым печам и перекатным печам.

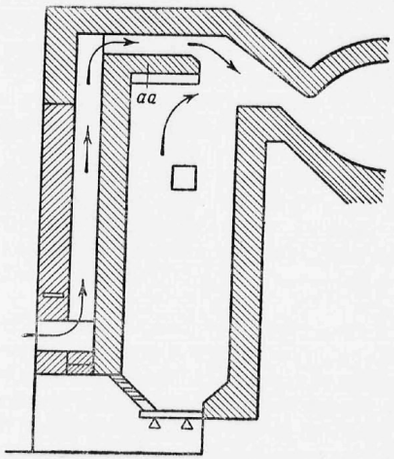
Давление газов в печах равно атмосферному. В вертикальной сожигательной камере AB (фиг. 23) газы набирают весьма основательное положительное давление, так как высота H около 4 аршин, что предупреждает засасывание в эту камеру наружного воздуха и вместе с тем дает возможность иметь достаточную тягу даже при трубчатом паровом котле, живое сечение трубок в котором всегда бывает очень невелико сравнительно с нагревательной поверхностью котла.

РАСПОЛОЖЕНИЕ ГАЗОВЫХ И ВОЗДУШНЫХ ОКОН

При смешении воздуха и газа в газовых или полугазовых печах надо всегда помнить, что при нагревании газа и воздуха их удельный вес меняется в громадных пределах; а потому не удивляться, когда холодный воздух тонет в горячих газах и собирается там, где его совсем не ожидали.



Фиг. 24

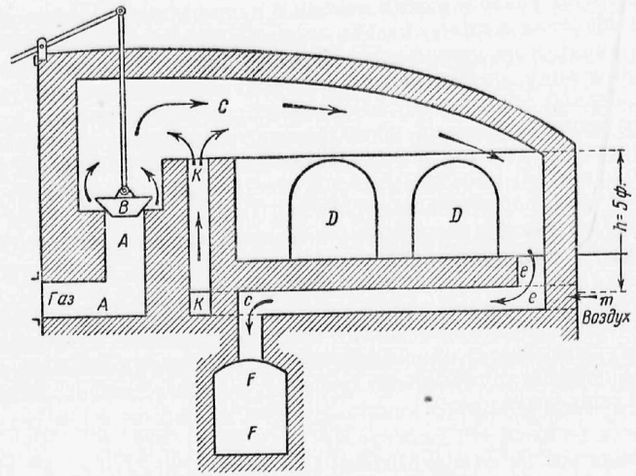


Фиг. 25

Однажды мне случилось сделать такого рода топку (фиг. 24). На колосниках я рассчитывал получить полугаз, который думал дожечь тепленьким воздухом, поступающим из пазухи *nn* при помощи отверстий *a*. Каково было мое удивление, когда топка эта пошла совершенно неожиданным образом. На колосниках начал накапливаться в громадном количестве уголь, и тяга через колосники почти совсем прекратилась. Напротив того, все горение пошло на счет воздуха, поступающего через отверстие *a*, падающего вниз, сжигающего топливо и затем поднимающегося у противоположной стенки. Результатом, конечно, такой работы топки был недостаток огня в печи, и ее пришлось исправить, введя сводик печей Боэциуса.

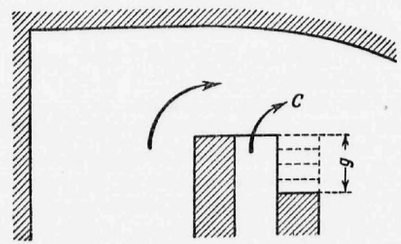
На фиг. 25 изображена типичная топка уральских печей Боэциуса, от которых остался, собственно говоря, только один сводик *aa*, предохраняющий слабо нагретый воздух от падения в топку, как это было с моей топкой, описанной выше.

Нередко подогретый воздух вводят в печь через порог. На фиг. 26 показана отжигательная печь одного из заграничных заводов, которую мне пришлось пускать и которая не пошла. Пламени было в печи так мало, что мы не могли поднять температуру печи до светлокрасного каления. Холодный газ доставляется газопроводом AA и через регулирующий клапан B вступает в печь. В пороге он встречает струю подогретого возду-



Фиг. 26

ха. Пламя выполняет печь, причем весьма высоко поднятый над лещадью свод дает возможность использовать под сводами пространство как сожигательную камеру, подобно печам кирпичеобжигательным. Затем пламя,



Фиг. 27

спустившись на под, уходит через каналы *ee* в боровок дымовой трубы FF. Воздушные каналы, начинаясь отверстиями m, идут горизонтально на том же уровне и параллельно дымовым *ee* в промежутке между ними, затем принимают восстающее направление и по щели KK в пороге C входят в печь.

Из описания видно, что как будто все исправно, и печь должна работать. На самом деле оказалось следующее: воздух входил в печь под напором воздушного столба h, который оказался так велик (5 футов), что он образовал сильный воздушный фонтан и совсем преградил вход в печь

газу. Поправить дело оказалось весьма просто: с порога *C* было снято четыре ряда кирпича *g* (фиг. 27), и печь пошла удовлетворительно. Этот случай подтверждает старое правило, что при смешении струй газа и воздуха следует избегать встречных течений, а надо смешивать их параллельными попутными, а лучше всего чередующимися струями, к чему и пришлось бы прибегнуть, если бы работа печи не поправилась бы после сделанного изменения.

Относительно расположения газовых и воздушных пролетов в печах Сименса и Мартена можно сказать следующее: если без особого ущерба для конструкции печи можно сделать расположение газовых и воздушных окон в одном ряду, то его делать следует, особенно при шихте, богатой чугуном и бедной обрезками. Расположение воздушных окон выше газовых конструктивно удобнее, но в смысле окислительного влияния действие пламени невыгодно, ибо вызывает усиленный расход на руду, что само собой понятно, ибо действие воздуха на поверхность ванны в этом случае менее сильно, чем в предыдущем.

По традиции газ пускают всегда через нижние окна, а воздух сверху, основываясь на том, что воздух на 10% тяжелее газа. Но мы видели, что на 10% газы увеличивают свой объем при нагреве всего на 30°Ц, а потому было бы весьма интересно, увеличив размеры воздушных регенераторов, сделать нижние окна воздушными, а верхние газовыми, чем были бы совмещены выгоды процесса окисления шихты с конструктивными выгодами печи. Но такой конструкции мне встречать не приходилось: испробую ее при первой же возможности.

ВЫВОДЫ

Итак, вот правила постройки самодувных металлургических печей с рабочими окнами в рабочем пространстве:

1. Проектируя топку металлургической печи, никогда не следует надеяться на тягу дымовой трубы. Роль дымовой трубы кончается у окна рабочего пространства. Все топки должны проектироваться на положительное давление. Назначение дымовой трубы есть удаление из печи отработавших газов и преодоление сопротивления регенераторов, рекуператоров, паровых котлов и прочих устройств для утилизации теряющегося жара.

2. При движении теплового потока в восстающем направлении теплый газ или воздух набирает давление. Заставляя теплый газ или воздух опуститься на некоторый низший горизонт, мы затрачиваем упругость газов; очень часто этого можно достигнуть не иначе, как произведя искусственно некоторое разрежение газов при помощи тяги дымовой трубой. Движение теплых газов кверху соответствует природе газов и всегда удается легко, движение же теплых газов вниз всегда производится принудительно.

3. При делении потока горячих газов с целью их остудить и использовать их теплоту надо соблюдать правило делить его на нисходящие струи, а отнюдь не на восстающие.

При делении потока газов с целью их нагреть надо делить его на восстающие струи и ни в каком случае не на нисходящие, или проще — остывающий газ должен направляться вниз, а нагревающийся вверх.

4. Струи никогда не должны сталкиваться под крутыми углами и иметь возможность мешать друг другу.

5. Никогда не надо забывать, что газы при нагревании увеличиваются в объеме и уменьшают свою плотность чрезвычайно быстро, что надо всегда помнить при их смешении.

6. Газовым потокам никогда не следует давать чрезмерных скоростей.

Проектирование печей — задача весьма простая, и вот схема, коей должно руководствоваться в этих случаях:

Задание. Задаваясь размерами какой-либо печи, надо сосредоточить все свое внимание на правильном задании количества топлива, сжигаемого данным устройством. Иначе говоря, печь следует проектировать не для выделки такого-то количества металла, а для сжигания такого-то количества топлива. Казалось бы, что в таком требовании нет никакого смысла, однако практика жизни показывает другое. Нередки случаи, что одна и та же печь в разных руках работает различно. Хороший варовщик или плавильщик выдаст из печи процентов на 50 больше, чем плохой, а следовательно, производительность для всякой металлургической печи не есть величина постоянная и ею нельзя задаваться. Гораздо постояннее суточный расход топлива, и так как количество печных газов, скорости их движения и размеры печи зависят от секундного потребления топлива, то им и следует задаваться. Итак, расход топлива, в виде дров, торфа или известного состава каменного угля, равен в 1 секунду стольким-то килограммам. Если это топливо превращается в генераторный газ известного состава, то высчитывается, сколько килограммов газа получится из 1 кг топлива или в 1 секунду; определить количество газа, соответствующее 1 кг топлива, нетрудно, если знать содержание в топливе и в газе углерода: взяв отношение процентного содержания углерода в топливе к процентному содержанию его в газе, мы получим, сколько 1 кг топлива даст килограммов газа. Таким образом, получится количество в килограммах потребляемого в 1 секунду печью газа, или, разделив это количество на вес 1 куб. м газа, вычисленного по его элементарному составу, мы получим потребление печью газа в кубических метрах.

Затем определяется потребление печью в 1 секунду воздуха. Исходят из состава топлива или газа, определяя, сколько потребуется воздуха для превращения всех составных частей 1 кг газа или топлива в углекислоту и воду. Затем найденное количество умножают на $1^1/_4$—$1^1/_2$ для топок газовых и на 2 для топок простых. Отсюда легко определяется секундный расход печью воздуха.

Наконец, на основании секундного расхода топлива и воздуха, легко найти состав, вес и объем при 0°Ц дыма, получающегося в 1 секунду. Зная секундные объемы газа, воздуха и дыма и задаваясь скоростями их при 0°, легко определить сечение всех каналов для этих трех основных элементов пламени, к чему, собственно, и сводится проектирование печей данного типа.

Обыкновенно во всех дымоходах, газо- и воздухопроводах самодувных печей не следует давать скоростей больше 1 м в секунду, считая все газы при 0°Ц и атмосферном давлении. В пролетах мартеновских печей, в их клапанах, в порогах полугазовых печей можно давать скорости до 2 м, считая объемы газов при 0°Ц. В регенераторах скорости уменьшаются до 0.1—0.2 м в секунду. В кауперовских решетках дым имеет скорость около 0.1—0.2 м в секунду. В кауперовских решетках дутье около 0.35 м в секунду, при 0°Ц, конечно. 0.1 м, нагреваемое же дутье около 0.35 м в секунду, при 0°Ц, конечно. Скорость газов в плавильном пространстве мартеновских печей обыкновенно около 0.3—0.5 м в 1 секунду. Вообще, проектируя газовые печи, следует чрезвычайно внимательно отнестись к проекту газопровода, от устройства которого всецело зависит давление в нем газов. При правильно устроенном газопроводе (см. выше) давление в нем много выше атмосферного, пользуясь чем, можно значительно увеличить скорости в печах. Напротив того, при неправильном устройстве газопроводов, давление в них редко бывает или равно атмосферному, или ниже последнего. При

таких условиях даже хорошо пропорционированная печь может работать плоховато.

На этом я заканчиваю свою работу.

Как видит читатель, она далеко не исчерпывает вопроса. В ней слишком мало цифровых данных, взятых из практики для проектирования печей.

По роду моей настоящей деятельности мне теперь трудно восполнить этот недостаток, почему я ограничил свою задачу только общим выяснением принципов работы печей — в надежде, что инженеры, ближе меня стоящие к делу, своими непосредственными исследованиями восполнят этот недостаток общей металлургии.

ПРИМЕЧАНИЕ РЕДАКТОРА

Статья напечатана в «Горном журнале» в 1905 г. и потом выпущена вторым изданием в виде отдельного выпуска обществом Уральских горных техников.

В этой статье дана, так сказать, статика газов в печах как первая ступень учения о движении газов в печах. Этот первый шаг, сделанный В. Е. Грум-Гржимайло при работе на заводах, положил основание для всех его дальнейших работ по созданию гидравлической теории движения газов, которая окончательно оформилась около 1910 г.

В. Е. прекрасно сознавал, что явления, происходящие в печах, нельзя объяснить одной статикой, изучение динамики горячих газов является насущной необходимостью, но, не изучив статики и не выявив всех ее законов, неразумно приступать к динамике. Он твердо шел этим путем, умело используя все те возможности, которые открывала ему статика, и на статических принципах создавал печи, превосходящие современные ему устройства. «Дайте прочно утвердиться на статических принципах — говорил он,— придет время — займемся динамикой». И это время пришло еще при его жизни. Первые шаги были сделаны им в самом начале в виде его аксиомы: «Движение пламени в воздухе есть движение легкой жидкости в тяжелой», теории газослива (совместно с проф. И. Г. Есьманом) и расчете высоты газового фонтана. Дальнейшие вопросы динамики пришлось решать под давлением требований жизни, необходимости получения одинаковой температуры по всей высоте рабочей камеры. Этот вопрос в первоначальной стадии был решен им в теории сушил (1920) (см. стр. 140), в основу которой была положена идея циркуляции сушащего воздуха.

Эта идея, перенесенная на печи (1926), приведшая к созданию так называемых циркуляционных печей, дала блестящий результат, позволив добиться разности температур под сводом и у пода в 10—20°.

На этом, в сущности говоря, закончились работы В. Е. по динамике газов и вообще по теории печей. Ими несомненно заложены основы для дальнейших работ, и можно быть уверенным, что в ближайшие годы советские инженеры закончат начатое им дело.

ОГНЕСТОЙКОСТЬ ДИНАСА

Теперь делается уже очевидным, что недалеко время, когда бессемеровская, а следом за ней, вероятно, и томасова реторта уступят свое место мартеновской печи; поэтому огнестойкость материалов, из которых кладется мартеновская печь, заслуживает самого прилежного изучения, а между тем спросите любого мартеновского техника об условиях, которым должен удовлетворять нужный ему динас, и вы всегда получите один ответ:

«Что называется хорошим динасом, я не знаю. Марка динаса А хороша, динас марки В никуда негоден — вот все, что я знаю».

В одном из новейших сочинений, посвященных вопросу фабрикации огнеупорного кирпича,[1] рассказывается грустная история одного германского завода динаса, построенного на месторождении весьма чистых песчаников. Завод, несмотря на великолепное качество материала, не смог приготовить ни одного кирпича хорошего динаса и был ликвидирован.

Для уральских заводов это очень старая и давно известная история. Урал так богат кварцем, что для динаса употребляется часто исключительно молочно-белый кварц, по составу почти химически чистый кремнезем, и, однако, хорошим динасом уральские заводы не хвастают. Мало того, для получения сносного динаса некоторые уральские заводы по примеру заводов округа Сент-Этьенн во Франции прибавляют в чистый кварц менее чистый кварцевый песок[2] или просто готовят динас из железистого кварца.[3] Опыт показывает, что химически менее чистый динас является в печи Мартена более огнестойким, чем динас, приготовленный почти из горного хрусталя.

Отсюда очевидно, что причина малой огнестойкости динаса лежит не в плавкости его составных частей. Этим я не хочу сказать, что динас в мартеновской печи нельзя расплавить. Напротив того, при некоторой неосторожности в обращении с воздухом температура плавления кремневой кислоты (1830°) достигается в печи легче, чем это было бы желательно, и получить потоки расплавленного динаса со свода очень нетрудно. Труднее, конечно, расплавить чистый кварцевый песок при наварке пода мартеновской печи; у меня имеются куски наварки пода кислой печи Обуховского завода; в данном случае под, очевидно, подвергался поверхностному плавлению, а между тем в нем по анализу оказалось 97.4 SiO_2!

---

[1] Friedrich Wernike, Die Fabrication der Feuerfesten Steine, 1905, стр. 4.
[2] Нижне-Салдинский завод Демидова.
[3] Алапаевский завод Яковлевых.

Отсюда ясно, что чистоту динаса должно считать его необходимым качеством, и, однако, заводчики сознательно вводят в шихту динаса менее чистые примеси и достигают огнестойкости динаса путем порчи его химического состава.

Логический вывод из этого один: динас в мартеновской печи разрушается не только путем плавления, но еще и другим каким-то способом.

Действительно, если мы посмотрим на выломки свода, то увидим, что разрушение динаса двояко: 1) поверхность динаса оплавлена, но 2) кроме того, кирпичи динаса на некотором расстоянии от оплавленной поверхности разбиты трещинами.

Трещины эти не случайны, так как наблюдаются почти на каждом кирпиче, им же следует приписать и внезапный обрыв целого участка свода на $^1/_4$ и $^1/_2$ кирпича, что нередко бывает при быстром повышении температуры печи. Если мы будем внимательно наблюдать разрушение простенков и пролетов головок мартеновской печи, то увидим, что собственно *плавление* головок наблюдается весьма редко. Износ их идет каким-то особенным путем; плавлению предшествует механическое разрушение; головки сперва осыпаются и потом плавятся. Если следить за разрушением новой печи, то можно подметить в высшей степени странное явление: арочки, перекрывающие пролеты, во время первых плавок выдвигаются в печь карнизом на $^1/_4$—$^1/_2$ кирпича. Очевидно, при разогреве печи является какая-то сила, выпирающая арочки вперед из-за простенков. Это, конечно, не сила естественного расширения кирпича, ибо она не могла бы сказаться так резко, как уступ 3—5 дюймов ширины.

Такое осыпание кладки головок мартеновской печи продолжается только первые десять плавок. Когда печь, по выражению плавильщиков, «ошлакуется», разрушение головок останавливается или идет значительно более медленным темпом. Разрушение кладки простенков на первых плавках до ошлакования печи так серьезно, что длина кампании печи всецело зависит от удачи первых плавок.

О явлениях, происходящих в динасе при неосторожном нагреве во время первых плавок, нетрудно составить понятие, если ввести в рабочее пространство мартеновской печи динасовый кирпич; этим путем нередко делают пробы динаса, но обыкновенно, как бы старательно мы ни подогревали динас перед посадкой, как бы медленно ни подвигали его от окна печи к пролетам, динас не выдерживает быстрого нагрева и растрескивается в какую-то рыхлую массу, значительно увеличиваясь в объеме.

Для всех фабрикантов динаса это явление хорошо известно. Если во время обжига динаса пустить в печь избыток воздуха, то получается пламя, отдельные языки которого имеют температуру, близкую к теоретической температуре горения. Если такое пламя охватит обжигаемый динас, то он весь растрескается и увеличится в объеме на 30%. На фиг. 1 изображены два кирпича динаса Днепровского завода; один из них нормальных размеров, второй же кирпич раздутый во время обжига. Как видно из фотографии, весь кирпич разбит трещинами.

Итак, динас может быть разрушен в мартеновской печи резким повышением температуры, причем материал его разбивается массой мелких трещин и обращается в рыхлую массу. Эта рыхлая масса не имеет никакой прочности как строительный материал и легко осыпается, а затем плавится под влиянием пыли, несомой пламенем печи. Отсюда следует, что динас, обращающийся в свою рыхлую разновидность под влиянием резкого подъема температуры, является материалом *непригодным* для кладки мартеновских печей, и задача фабриканта динаса заключается в том, чтобы

дать мартеновским мастерам динас, спокойно переносящий неизбежные в печи резкие перемены температур.

Итак, динас должен удовлетворять двум условиям: не должен плавиться, т. е. должен быть достаточно чист по своему химическому составу, и не должен переходить в свою рыхлую разновидность.

В чем же заключается этот процесс обращения динаса в рыхлую разновидность и как предупредить динас от этой метаморфизации?

Как известно, кремнезем встречается в природе в двух кристаллических формах: кварц, удельного веса 2.65, и тридимит (асманит), удельного веса 2.28—2.33.

Исследуя под микроскопом динас Алапаевского завода из регенераторов в 1904 г., я заметил, что в некоторых образцах такого кирпича зерна кварца исчезли и заменились двойниками какого-то минерала, который по догадке должен быть тридимитом или асманитом (фиг. 2).

Посланные мною образцы этого кирпича были исследованы в Горном институте В. И. Соколовым и описаны в Записках Минералогического общества, причем кристаллы эти были определены как двойники асманита.

После этого мною были исследованы имеющиеся в продаже сорта динаса, причем оказалось, что динас может быть: 1) чисто кварцевый, 2) отчасти метаморфизованный или 3) вполне метаморфизованный в тридимит.

Материалом для выделки динаса на Урале является обыкновенно жильный кварц. В России очень чистые кварциты. Кварц или кварцит обыкновенно обжигается для удобства размола. Температура обжига, в среднем 1000—1200° Ц, на структуру кварца или кварцита влияния не имеет.

Мною исследовались кварциты Днепровского завода. Взятые в 1908 г. два образца сырого кварцита (темносерый и светлосерый) имели удельный вес 2.66 и 2.67.

Одновременно взятый образец обожженного при 1000—1200° кварцита был исследован под микроскопом. На шлифе в обыкновенном свете видны зерна кварца, разбитые трещинами. Тот же шлиф в поляризованном свете показывает, что кварцит своей структуры не переменил; разбитые трещинами зерна кварца прекрасно вращают плоскость поляризации и окрашиваются всеми цветами радуги. Удельный вес кварцита уменьшился с 2.66 до 2.59, что надо объяснить увеличением объема растрескавшихся зерен кварца.

Благодаря обжигу кварц и кварцит делаются очень хрупкими, и размол их идет гораздо легче, чем сырого кварца, а особенно кварцита; в этом роль обжига и кончается, откуда следует, что для выделки динаса совершенно безразлично, обжигается ли кварцит перед размолом или нет.

Крупность размола различна. Заграничный динас прессуется из материала крупностью до 5 мм. Русский динас гораздо чаще делается из мелкого зерна (до $1^1/_2$—2 мм). Ниже мы увидим, чего следует держаться. Размолотый материал смачивается известковым молоком, причем количество извести бывает обыкновенно $1^1/_2$—2%. Кроме извести нередко прибавляется разболтанная в воде огнеупорная глина до 2—$2^1/_2$%.

Очень редко и совершенно напрасно в шихту прибавляется иногда портландский цемент. Количество примесей различно, в зависимости от степени чистоты шихты; при очень чистой шихте примесей больше, при менее чистой — меньше. В конце концов в динасе должно быть около 94—96% SiO_2, откуда следует, что сумма весов примесей равна 4—6%.

Шихте очень полезно дать вылежаться сутки перед прессовкой; кроме того, полезно формовать шихту с таким количеством воды, чтобы при прессовке она выдавливалась из кирпича; только при такой степени влаж-

ности шихты есть уверенность, что все зернышки кварца смочены известковым молоком.

Прессовка динаса бывает или очень сильная или слабая. Сильно прессовать динас не следует.

Чем слабее прессование и сочнее шихта, тем больше пористость динаса, что увеличивает его огнестойкость (см. ниже). Сушка динаса может вестись чрезвычайно быстро без всякого вреда для дела.

Процесс обжига, напротив того, является операцией крайне деликатной. Находившиеся в материале примеси и введенные известь и глина в сумме дают около 4—5%; присоединив к себе столько же кремнезема, они образуют около 8—12% по весу стекла или шлака, который смачивает зерна кварца и их цементирует.

Процесс образования этого шлака требует значительного времени и высокой температуры. Начинается он с образования легкоплавкого силиката железа в тех местах, где есть крупинки железа (от дробильных приборов) или его окиси; с повышением температуры к этому шлаку присоединяется CaO и SiO_2, засим кремнекислый глинозем и другие примеси. Образовавшиеся пятна темного железистого силиката, вначале очерченные весьма резко, начинают расползаться по кирпичу, делаются все крупнее и крупнее, светлее и светлее и в конце концов переходят в мраморовидную окраску динаса. Очень часто в России почти всегда на этом процесс обжига кончается.

В результате мы получаем кварцевый динас; таков динас Днепропетровского завода удельного веса 2.50, Лысьвенского завода удельного веса 2.50, Симского завода, Нижне-Салдинского, Алапаевского, Богословского, Мотовилихинского и, вероятно, всех других уральских заводов.

Под микроскопом мы видим растрескивающиеся зерна кварца, сцементированные стеклом (фиг. 3, динас лысьвенский в поляризованном свете). Микрофотографии показывают, что процесс переработки зерен кварца идет очень энергично; зерна кварца растрескиваются и растворяются в стекле; но, как показывает поляризованный свет, пока кварц остается кварцем.

Удельный вес динаса в этой стадии 2.50. Если сопоставить удельные веса:

сырой кварцит	2.66—2.67
обожженный кварцит	2.59
кварцевый динас Днепровского завода	2.50
тридимит	2 33

то мы увидим, что каждое зерно кварца увеличилось в объеме при получении кварцевого динаса на:

$$\frac{100\left(\frac{1}{2.50}-\frac{1}{2.66}\right)}{\frac{1}{2.66}}=\frac{(0.4-0.376)\,100}{0.376}=6.4\%.$$

Это увеличение должно быть приписано двум обстоятельствам: 1) увеличению объема кварца вследствие появления микроскопических трещин и 2) частичному начинающемуся переходу кварца в тридимит удельного веса 2.33; мы не обладаем никакими средствами выделить влияние каждой причины, а потому приходится притти к выводу, что определение удельного веса не может служить верным методом для определения степени перехода кварца в тридимит.

Исследование многочисленных шлифов указывает, что под влиянием повышенной температуры кварц растрескивается мельчайшими микроскопическими трещинами.

При правильном обжиге это растрескивание зерен кварца идет в жидкой среде расплавленного стекла, которым смочены зерна кварца, которые, следовательно, обладают значительной подвижностью.

Благодаря этой подвижности зерен кварца процесс растрескивания зерен кварца не выходит из пределов микроскопических перемещений. Треснувшее зернышко раздвигается, вытесняя окружающее зерно стекло; стекло заполняет трещину, занимает место пор в кирпиче, и весь процесс увеличения объема зерен идет, не влияя на внешние очертания кирпича.

Роль стекла в этом случае, с одной стороны,— роль пружины, мягко отвечающей на проявления частичных сил метаморфизации кварца, с другой стороны,— роль цемента, заполняющего трещины и поддерживающего единство кирпича, как целого, и, наконец, роль растворителя, как мы увидим ниже.

Представим себе, однако, что этого стекла нет. Для этого подвергнем кирпич высокой температуре, не дав времени стеклу образоваться. В этом случае увеличивающиеся в объеме зернышки кварца, лишенные подвижности, не в состоянии будут разместиться в объеме кирпича за счет его пор. Трещины не заполнятся жидким стеклом, а останутся не заполненными материалами кирпича, и потому кирпич не в состоянии будет удержать своих внешних размеров. Кирпич растрескивается и увеличивается в объеме. Действительность вполне подтверждает это явление. Всякий фабрикант знает, что если во время обжига динаса не дать времени образоваться стеклу и быстро поднять температуру, то динас будет испорчен: он весь окажется разбитым трещинами и увеличится в объеме на 30%. Кварцевая масса разбухнет, сделается рыхлой и трещиноватой.

На фотографии (фиг. 1) представлено два кирпича Днепровского завода рядом: нормальный и разбухший. На фиг. 4 показана микроструктура разбухшего динаса Днепровского завода. Масса эта некристаллична, на поляризованный свет не действует. Удельный вес ее 2.33, что указывает на то, что в разбухшем динасе Днепровского завода совершился полный переход кварца в тридимит.

Кирпич этот совершенно испорчен: ниже мы увидим, что он испорчен даже как материал для выделки динаса. Случаи разбухания динаса у неопытных мастеров очень часты. Достаточно провести обжиг динаса на пламени с избытком кислорода воздуха, чтобы весь динас был испорчен. Объяснить это нетрудно: в пламени с избытком кислорода развиваются языки пламени высокой температуры. Если таким языком пламени охватить обжигаемый динас, его несомненно раздует.

Уберечь динас от разбухания можно только, ведя обжиг при недостатке воздуха, на коптящем пламени. Поднимая медленно его температуру, при горении во всей печи, можно достигнуть заблаговременного образования стекла и медленного перехода кварца в тридимит в полужидкой среде динаса, пропитанного стеклом.

Частичная порча динаса заключается в поверхностном оплавлении или глазировке его языками пламени. Под такой сплавленной корочкой находится разбитый трещинами кварц, перешедший отчасти в рыхлое состояние. Этот динас «в рубашке» считается фабрикантами безусловным браком, ибо под рубашкой всегда есть трещины. Таким образом, картина обжига рисуется так: если обжиг ведется пламенем, языки которого имеют высокую температуру, то кварц очень быстро переходит в тридимит удельного веса 2.33. Если же температура пламени совершенно ровная горение

идет без избытка воздуха (томильный, мягкий жар) и поднимается медленно, то среди зерен кварца получается стекло. Это стекло, облегая зерна кварца, смягчает процесс их растрескивания; но, кроме того, видоизменяет и самый процесс перехода кварца в тридимит, вводя в этот процесс элемент растворения кварца в силикате кварца и выделения из него менее растворимого тридимита. Помогая таким образом, с одной стороны, метаморфизации кварца, с другой стороны, стекло уменьшает резкость этого перехода, отчего окруженный стеклом кварц делается, повидимому, способным переносить безнаказанно весьма значительное «перегревание» без резкого перехода в рыхлый тридимит.

При какой температуре происходят описанные явления? Ответом на это могут служить конусы Зегера, которые показывают температуру обыкновенного обжига динаса около 1420° Ц (Днепровский завод).

В Саткинском заводе товарищества «Магнезит» динас обжигается при температуре выше 1530° Ц в камерной печи Мендгейма. Динас переносит эту температуру вполне благополучно, но под влиянием постепенно поднимающегося жара на шлифе динаса завода «Магнезит» видна переработка зерен кварца в кристаллический тридимит. Процесс этот заключается в следующем: зерно кварца растрескивается, по трещине проникает в его толщу стекло, растворяющее кварц и выделяющее менее растворимый в нем тридимит, т. е. происходит тот же процесс перекристаллизации при посредстве небольшого объема раствора, как при отвердевании цементов.

Непременным условием этого процесса является температура, достаточная для расплавления стекла. Раз произошло такое частичное плавление динаса, то процесс перекристаллизации идет непрерывно: при невысокой температуре медленно — месяцами, при повышенной температуре быстрее.

Я упоминал уже выше, что впервые тридимит был найден мною в динасе, пролежавшем месяцы в регенераторах мартеновской печи при температуре около 1200°, и я был склонен думать, что процессу этому свойственна эта медленность.

Однако шлиф динаса завода «Магнезит» указывает на несправедливость такого мнения. При температуре 1530° достаточно было обжига в 24 часа для того, чтобы весьма значительная часть кварца уже перешла в тридимит. Кроме динаса, приготовленного из жильного кварца, завод общества «Магнезит» готовит также динас из местного кварцита, для которого температура 1530° Ц оказывается достаточной для полного перерождения в тридимит. Отсюда я заключил, что если поднять еще выше температуту обжига, то динас, сделанный из жильного кварца, тоже переродится в тридимит.

Я просил В. Г. Рогожникова, управляющего заводом «Магнезит», посадить в печь Мендгейма динас Лысьвенского завода и обжечь его с магнезитовым кирпичом при 1650—1670° Ц. Процесс обжига в печи Мендгейма идет так, что кирпич подогревается от 4 до 5 дней и сутки стоит на газу, а затем стынет 4—5 дней. Печь страдает избытком воздуха, и пламя факельное.

Посаженный с магнезитовым кирпичом обожженный динас Лысьвенского завода не выдержал такого быстрого и высокого вторичного обжига. Кварц перешел в аморфный тридимит, кирпич растрескался.

Посаженный вместе с ним динас завода «Магнезит», сделанный из жильного кварца, вышел из этого испытания с честью. Края его оплавились, но динас остался крепким и звонким.

Очевидно, процесс растворения кварца и выделения кристаллического тридимита в динасе Лысьвенского завода не успевал следовать за быстрым

подъемом температуры печи Мендгейма, и в результате часть кварца выделилась в виде рыхлого тридимита. Кварца было слишком много.

В динасе завода «Магнезит» кварца было несравненно меньше, работа растворения кварца и выделения тридимита была легче, и весь кварц перешел в кристаллический тридимит.

Этот пример в точности воспроизводит картину разрушения простенков мартеновской печи. Промежуток подогрева динаса 4—5 дней совпадает с периодом подогрева мартеновской печи.

Пуск камеры Мендгейма на газ совпадает с первыми плавками на новой печи, и вот результаты: если простенки сложены из кирпича, подобного лысьвенскому, они будут разрушены; если они сложены из кирпича завода «Магнезит», они останутся целы.

Итак, прочность динаса, его огнестойкость, зависит от свойства обжига динаса. Если обжиг был настолько продолжителен и силен, что весь кварц перешел в кристаллический тридимит, то печь застрахована от быстрого разрушения во время первых же плавок.

Если результатом обжига был динас только с частичным переходом в тридимит, то мы всегда рискуем испортить печь на первых же плавках.

Если это так, то, очевидно, конечной стадией кислых материалов, из которых состоит печь, должен быть всегда кристаллический тридимит.

1. Исследую сталактиты сплавленного динаса Обуховского завода: под микроскопом видно, что кварца в нем не осталось, удельный вес 2.36, FeO — 1.50%, т. е., очевидно, масса сплавленного сталактита состоит из тридимита.

2. Исследую наварку кислого пода Обуховского завода: микроскопический шлиф не показывает признаков кварца. Удельный вес 2.34; FeO — 0.72%. Наварка состоит из тридимита (фиг. 5).

3. Исследую алапаевский динас, вполне перерожденный в продолжение месяца в стенках головок печи (фиг. 2).

Микроскопический шлиф показывает мелкие кристаллы тридимита.

4. Исследую заграничный динас из воздушных регенераторов мартеновской печи Обуховского завода (фиг. 6): шлиф показывает крупные кристаллы тридимита, удельный вес 2.33, FeO — 1.21%. На шлифе можно видеть переработку бывшего крупного кристалла кварца. Он уже не кварц, а тридимит; но не крупно-, а мелкокристаллический. Раствор кремнекислого стекла не успел еще переработать его в крупные кристаллы тридимита.

Итак, тридимит есть конечная стадия метаморфизации динаса, а потому тридимитовый или асманитовый кирпич может разрушаться в мартеновской печи только плавлением; трескаться в жару он не должен. Такой кирпич будет очень выносли и должен хорошо служить в мартеновской печи.

Исходя из этих соображений, я подверг изучению лучшие марки динасов:

1) лучшая русская марка, динас Брянского завода в Бежицах (фиг. 7); динас наполовину перерожденный;

2) марка Stella — кварца еще много;

3) Zurbrick — то же;

4) Leutgen — признаки кварца;

5) марка I. S., получена с Путиловского завода, кварца следы;

6) марка Dollendorf; признаки кварца. Динас почти тридимитовый.

Состав его: SiO_2—96.65%, FeO — 0.75%, удельный вес 2.375.

На основании вышеизложенного мы можем выяснить технические условия для приемки динаса.

Динас должен удовлетворять двум условиям: а) огнеупорности, мери-

лом коей служит химический состав, б) законченности метаморфизации в тридимит.

Из этих двух условий важнейшее второе, и потому в некоторых случаях для удовлетворения второму условию придется сделать уступки в химической чистоте динаса.

Нетрудно предвидеть эти случаи: если мы имеем очень чистый кварц или кварцит, не имеющий в своей массе примесей, то для переработки его в тридимит в достаточно короткий срок весьма вероятна выгодность порчи его химического состава.

Обращающиеся в заводах хорошие динасы содержат кремнезема от 95 до 96.5% и плавятся при конусе 34 или 1810° Ц. Однако нередки динасы с содержанием SiO_2 в 93 и 94%.

Степень перерожденности динаса в тридимит можно определить:

а) по удельному весу,

б) исследованием под микроскопом.

Результаты определения удельного веса маскируются двумя обстоятельствами: примесь закиси железа делает динас тяжелее; наличность трещиноватого кварца ложно уменьшает удельный вес. Так как вообще определение удельного веса операция очень деликатная, то пользоваться ею для приемки динаса неудобно, ибо уверенности в том, что удельный вес вполне характеризует состояние кремневой кислоты, нет.

Лучший метод для приемки — это микроскопический шлиф, исследуемый в поляризованном свете, причем нет никакой надобности исследовать шлифы при большом увеличении. Увеличение в 25 раз слишком велико и требует тонкого шлифа. Увеличения в 10—15 раз вполне достаточно.

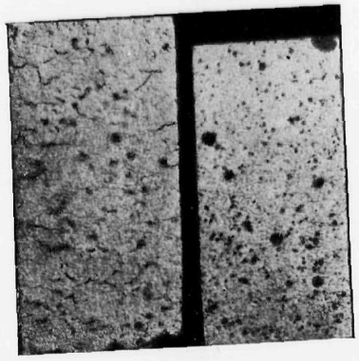
Однако, если бы пришлось руководствоваться приемкой динаса на основании удельного веса, то надо иметь в виду, что

удельный вес кварцитов	2.65—2.67
» » чисто кварцевых динасов	2.50
» » динаса с признаками кварца	2.37
» » кристаллического тридимита	2.33

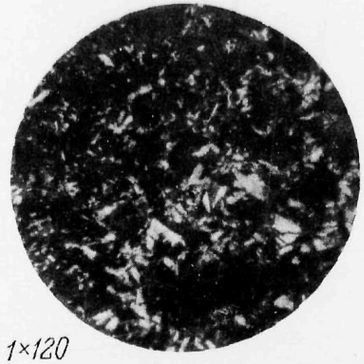
Следовательно, при приемке динаса придется требовать удельного веса менее 2.37. К этому надо прибавить, что ошибка в определении удельного веса всегда в сторону *уменьшения* удельного веса.

Как готовить хороший динас?

Мы видели, что реактивом, перерабатывающим кварц в тридимит, являются силикаты его вредных примесей — извести, закиси железа, глинозема и пр. Силикаты эти растворяют кремнезем и выделяют кристаллический тридимит. Скорость этого процесса зависит, конечно, прежде всего от распределения и физического состояния примесей. Представим себе такой случай: имеем зерна чистого кварца, на поверхности их крупные частицы извести, каолина и окиси железа, разбросанные в разных углах. Или имеем другой случай: зерно кварцита, микроскопические элементы коего сцементованы легкоплавким силикатом. Силиката этого может быть весьма мало, однако мелкое вкрапление его в кварцит делает его могущественным реактивом для перерождения кварца в тридимит. Действительно, раз температура обжига достигла температуры плавления этого силиката, то переработка кварца в тридимит начинается одновременно во всей массе кварцита. Кроме того, мелкозернистость строения кварцита будет способствовать быстрой растворимости зерен кварца, ибо по законам физической химии растворимость вещества в мелком раздроблении более растворимости крупных кристаллов.



Фиг. 1
Кирпичи Днепровского завода. Раздутый и нормальный



Фиг. 2
Тридимитовый динас Алапаевского завода



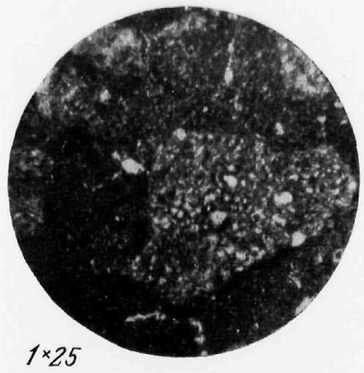
Фиг. 3
Динас Лысьвенского завода



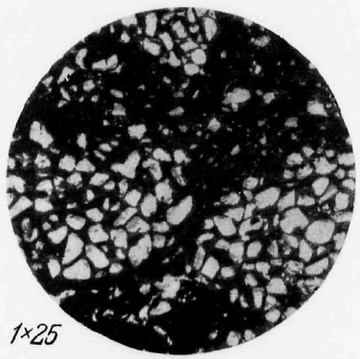
Фиг. 4
Микроструктура разбухшего динаса Днепровского завода



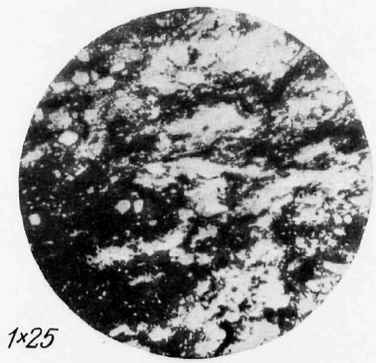
Фиг. 5
Тридимитовая наварка кислого пода из печи Обуховского завода



Фиг. 6
Динас из воздушных регенераторов мартеновской печи Обуховского завода с крупным кристаллом кварца, переработанным в тридимит



Фиг. 7
Наполовину перерожденный динас Брянского завода



Фиг. 8
Окремнелый сланец Брянского завода, идущий на приготовление динаса

Другое дело, когда силикат должен образоваться из примесей на поверхности крупных зерен чистого кварца. Конечно, для образования силиката и для растворения в нем крупного зерна нужно более долгое время и более повышенная температура. Однако, чем мельче будет зерно кварца, тем процесс растворения пойдет скорее и кирпич скорее переродится в кристаллический тридимит. Отсюда ясно, что когда динас делается из жильного весьма чистого кварца, то лучше готовить его из материала, размолотого возможно мельче.

Когда же он готовится из кварцита, способного перерождаться за счет заключающихся в нем самом примесей, то мелкое толчение только удорожает производство. Таковы кварциты, применяемые Бежицким заводом Брянского общества.

На юге Франции, а также в Нижней Салде к чистому жильному кварцу прибавляется очень мелкий песок, во Франции кровяно-красного цвета. Несомненно, что примесь такого материала способствует более быстрой перекристаллизации кварца.

Я упоминал, что шихте, смоченной известковым молоком, очень полезно дать время вылежаться сутки-двое перед прессованием. Такое вылеживание шихты способствует лучшему смачиванию зерен кварца известковым молоком, благодаря волосности, а следовательно, распределению силиката между зернами кварца. То же значение имеет и сочность шихты.

Раз при выделке динаса надо добиваться его перерождения в тридимит, то естественно является вопрос: не следует ли кварцит сперва прокаливанием превратить в рыхлую разновидность тридимита, а затем уже из этой массы делать динас? Из моего личного опыта в Нижней Салде следует, что из рыхлого тридимита очень трудно сделать прочный динас. То же сообщает и Ф. Вернике. И это понятно: тридимит, по предыдущему, труднее растворяется в силикате, чем кварц, и, конечно, не даст такой кристаллизационной слитности, как переродившийся и перекристаллизовавшийся под влиянием силиката тридимит.

Следует ли прессовать динас? Конечно, нет. Чем больше объем промежутков между зернами динаса, тем лучше, ибо объем каждого зернышка увеличивается за счет пористости динаса. Для увеличения пористости динаса полезно делать шихту более сочною; с этой целью можно прессовать динас с примесью древесных опилок, выгорание коих делает массу кирпича менее плотной.

Объем динаса нужно вести на коптящем пламени без избытка воздуха, поднимая температуру весьма медленно. Время обжига и высота температуры зависят от природы исходного материала. Чем крупнее и чище материал, тем дольше надо вести обжиг и тем выше должна быть его температура.

Я думаю, что при изготовлении динаса из жильного кварца придется поднимать температуру обжига до 1600° Ц, но в печи, в которой будет производиться этот обжиг, нужно иметь возможность хорошо регулировать качество пламени и его температуру. Единственный для сего пригодный тип — это газовые печи Сименса специальной конструкции. Но этот вопрос требует специального доклада.

Когда доклад этот был в типографии, мне удалось услышать от Е. А. Клевица, начальника завода огнеупорных материалов Брянского общества в Бежице, сделанное им лет двадцать назад следующее наблю-

дение над бессемеровскими днищами: ввиду плохой работы днищ (20 операций) он попробовал набрать днище из динаса, взятого из регенераторов мартеновской печи, и получил удивительные результаты. Днище стало выдерживать до 150 плавок. Мои исследования показали, что потемневший в регенераторах динас состоит из кристаллов тридимита, сцементованных силикатом железа. Отсюда ясно, что непрочность бессемеровских днищ имеет своей причиной растрескивание зерен кварца под влиянием быстрого подъема температуры. Бессемеровские днища и набойка сделаются прочными только тогда, когда мы будем их делать из кирпича, в коем кварц сполна переродился в тридимит.

Случай, рассказанный Е. А. Клевицем, проливает свет на причины малой огнестойкости и других огнеупорных материалов, например доменного кирпича, в состав коего входит кварц; идея перерождения кварца, повидимому, и в этой сфере будет иметь приложение.

С разрешения правления Брянского общества Е. А. Клевиц доставил мне окремнелый сланец, служащий материалом для приготовления динаса в Брянском заводе. Фиг. 8 представляет шлиф этого материала, который оказался кремнем (удельный вес 2.2) с примесью глины и запутанными в нем зернами кварца. Удельный вес этого окремнелого сланца 2.30. Очевидно, этот материал должен переходить в тридимит при очень низкой температуре и является идеальным материалом для выделки динаса.

ПРИМЕЧАНИЕ РЕДАКТОРА

Статья напечатана в Журнале Русского металлургического общества в 1910 г. (№ 1).

Создание теории огнеупорности В. Е. Грум-Гржимайло относится ко времени, когда он работал над основами теории печей, т. е. к концу XIX века и первым годам текущего столетия. В 1905 г. он впервые опубликовал в одной из глав «Элементарной теории построения металлургических печей» свою теорию образования в кирпиче кристаллического сростка (см. стр. 57).

Публикуемая в сборнике статья относится к более позднему периоду. Она была напечатана после того, как В. Е. удалось в Политехническом институте (Петербург), где он читал в то время лекции, произвести ряд исследований, подтвердивших его теорию.

До 1910 г. его печатные работы относились только к динасу. Относительно других огнеупорных материалов он не производил экспериментальных исследований, но в последующих своих трудах высказал свои взгляды на причины огнестойкости всех основных видов огнеупорных материалов, которые и приводим ниже.

Отметим прежде всего, что в своих работах он следующим образом определял огнеупорность:

«Огнеупорным, огнестойким изделием называется изделие, сохраняющее свою строительную прочность до момента плавления».

С этой точки зрения он всегда подходил ко всем огнеупорным материалам и искал в кирпиче тот кристаллический сросток, который не терял своей прочности при высоких температурах.

Так, об огнеупорности шамота он писал: «При повышении температуры обжига кремнезем вступает в химическое соединение с глиноземом и образует силикат глинозема формулы $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$, отличающийся высокой огнеупорностью. Силикат этот дает цельный кристаллический массив по форме кирпича; получается сросток кристаллов $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$ подобно тому, как кусок мрамора, кварцита и тому подобных горных пород есть сросток кристаллов углекислого кальция, кремнезема.

В таком кирпиче, если и есть примеси, то это просто посторонние включения в толще кристаллического сростка $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$. Эти включения могут расплавиться, вытечь, кристаллический сросток остается прочен, пока не начнет плавиться или, вернее, пока не растворится в своих примесях и не расплавится как раствор $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$ в примесях».

Об огнеупорности магнезита В. Е. писал: «Магнезитовый кирпич в поду мартеновской печи, сложенной на смоле, обращается в бесцветный минерал периклаз, представляющий кристаллизующуюся в правильной системе безводную магнезию (удельный вес 3.65). Примесь железа переходит в этом случае в форму закиси железа, изоморфную магнезии, и не мешает получению весьма прочного, напоминающего яшму, кристаллического сростка крупных кристаллических зерен периклаза с ясною кубическою спайностью. Здесь мы, повидимому, имеем случай твердения как следствие перекристаллизации.

Прочность обращенного в периклаз магнезитового кирпича нарушается весьма легко, ибо закись железа переходит в окислительной атмосфере в окись железа и периклаз переходит в магноферрит ($MgO \cdot Fe_2O_3$), белый кирпич делается бурым. Магноферрит при высоких температурах растворяется, повидимому, в магнезии и вызывает размягчение магнезитового кирпича при температурах гораздо ниже температуры плавления магнезии. Колебания от периклаза к магноферриту нарушают прочность кристаллического сростка и портят магнезит как огнеупорный материал, что делает работу на нем затруднительной».

Об огнеупорности доломита В. Е. говорит: «Обожженный доломит, кажется, дает сросток минерала $CaO \cdot MgO$. Под микроскопом в обожженном доломите прекрасно видны кристаллические зерна, выкристаллизовавшиеся, повидимому, из кремнекислого стекла. Однако этот вопрос совершенно не выяснен, и было бы очень желательно, чтобы вопросы твердения и о кристаллических сростках в огнеупорных материалах попали в руки минералогов, которые могли бы тут сказать свое веское слово».

Об огнеупорности хромисто-магнезитового кирпича: «Кажется, гораздо лучше хромистого (см. ниже) ведет себя хромисто-магнезитовый кирпич. Тут может получиться хромисто-магнезиальная шпинель ($Fe_2O_3, Cr_2O_3) \cdot MgO$, могущая дать кристаллический сросток».

Об огнеупорности талька: «Весьма интересный огнеупорный материал представляет тальк $6MgO \cdot 5SiO_2 \cdot 2H_2O$.

Это весьма мягкий минерал (твердость — единица), из которого кирпичи выпиливаются просто пилой. При температуре красного каления он выделяет воду, причем легко дает трещины. Когда вода выделена, получается материал, плавящийся при температурах свыше 1600°. По исследованиям, произведенным в Государственном фарфоровом заводе, по моей просьбе, выяснилось, что тальк не дает никаких растворов с окислами железа и окалина с ним не сплавляется. Таким образом, при умелом обращении это наилучший материал для подов печей для нагрева слитков и для медной рудной плавки».

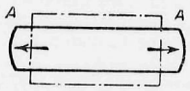
О хромистом кирпиче: «Крупные куски хромистого железняка были всегда мечтой каждого сталевара. К сожалению, уральский хромистый железняк, если и встречается в крупных кусках, то обыкновенно разбит жилками змеевика на множество сравнительно мелких отдельностей. Змеевиковые жилки вытапливаются из хромистого железняка при температуре около 1600°, и крупный кусок хромистого железняка в кладке стены мартеновской печи распадается на части, а стена осыпается и оплывает.

Для получения огнестойкого хромистого кирпича недостает процесса перекристаллизации обломков хромистого железняка в кристаллический сросток какого-то минерала, в состав коего вошел бы составной частью $FeCr_2O_4$.

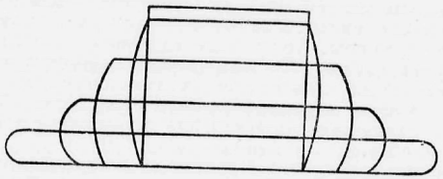
Пока такой перекристаллизатор не найден, об огнестойкости хромистого кирпича лучше не говорить. Процессы перекристаллизации в малом объеме жидкости встречаются в природе довольно редко, и найти такой для хромистого железняка будет не так легко. Поиски такого растворителя и перекристаллизатора особенно затрудняются непрозрачностью хромистого железняка под микроскопом. Придется итти чисто опытным путем, т. е. испытанием шихт на огнестойкость».

ОБ УШИРЕНИИ ПРИ ПРОКАТКЕ[1]

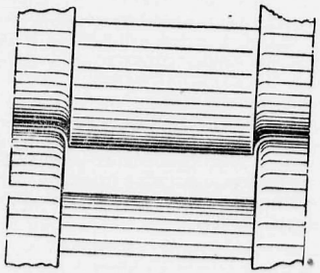
Итак, из очага повышенного давления, образующегося при прокатке впереди валов, металл течет: 1) назад, в раскрытый зев валов, 2) в меньшей степени вперед, в суженную щель калибра и, наконец, 3) может вытекать в стороны. Истечение в стороны дает уширение полосы AA (фиг. 1), представляющее, с одной стороны, могучее средство для достижения калибровщиком нужных ему эффектов, с другой стороны, труднейшую задачу для определения при проектировании сложных профилей.



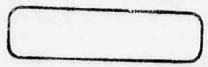
Фиг. 1



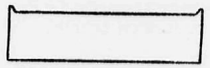
Фиг. 2



Фиг. 3



Фиг. 4



Фиг. 5

Если прокатка ведется в гладких валах и уширение не стесняется гребнями валов, то прокатанный в несколько пропусков квадрат дает коллекцию сечений, изображенных на фиг. 2. С каждым пропуском полоса делается все шире и шире, но при этом плоские грани квадратной полосы заменяются выпуклыми, а при большом вертикальном давлении даже полукруглыми. Если полосы катаются в замкнутых ручьях (фиг. 3),

[1] Выдержки из книги В. Е. Грум-Гржимайло «Прокатка и калибровка». Нумерация фигур изменена.

то свободное уширение в стороны стесняется, мениск не имеет места для своего развития и металл заполняет острые углы ручья.

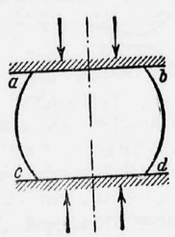
При этом могут получаться:

1) закругленные, не вполне выполненные углы, что очень некрасиво (фиг. 4) или

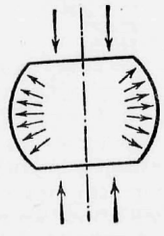
2) полоса с заусенками (фиг. 5), которые приходится удалять специальными машинами или просто отсекать и опиливать вручную.

Заусенки эти бывают очень тонкие, не толще лезвия перочинного ножа; они быстро стынут и быстро портят валы.

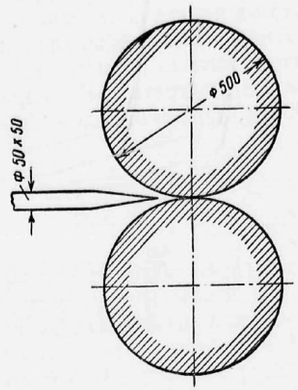
Мы увидим дальше, что уширение зависит от температуры прокатываемой полосы, почему все застуженные в валах полосы выходят с заусенками, слишком горячо прокатываемые полосы — с закругленными углами, и только полосы, прокатанные при нормальной температуре, имеют приличный профиль. При прокатке очень длинных полос концы полос, более холодные, выходят с заусенками, середина полосы с нормальными или закругленными, невыполненными углами.



Фиг. 6



Фиг. 7



Фиг. 8

Если даже при выработанной калибровке уширение так непостоянно, что требует со стороны прокатного мастера неусыпного внимания, чтобы не накатать брака, то что сказать о проектировании калибров. Трудности калибровки зависят, главным образом, от нашего неумения справиться с вопросом об уширении.

Имеем цилиндрик (фиг. 6), подвергнутый сжатию и получивший под влиянием его бочкообразную форму. На поверхности оснований ab и cd действует давление пресса и контрдавление цилиндрика; на боковую окружность цилиндрика давления нет, поэтому металл, так сказать, ожижается только под давлением поверхностей основания, металл же боковой поверхности остается нетекучим.

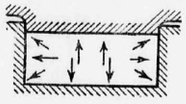
Ожиженный металл стремится потечь во все четыре стороны. Неожиженная боковая цилиндрическая поверхность представляет в этом случае оболочку, изнутри растягиваемую текущим металлом (фиг. 7). Оболочка эта растягивается столько, сколько может. Когда предел ее растяжения будет перейден, она лопается. Таким образом, сжатие материала становится в связь с его растяжением.

Растяжение железа в холодном состоянии обыкновенно не превосходит 0.4—0.7 его длины (конечно, в шейке растягиваемого образца), откуда следует, что цилиндрик при сжатии не может увеличить свой диаметр больше, чем на 0.4—0.7 своего диаметра. При раздавливании цилиндрика до большего диаметра получатся уже трещины.

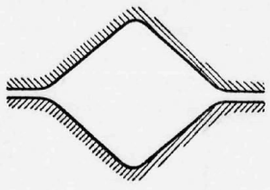
Если взятый материал (холодное железо) обладает настолько слабой текучестью и настолько большим междучастичным трением, что образовавшаяся трещина не может быть заполнена, залита изнутри, то она останется трещиной и при дальнейшем давлении разверзается все шире и шире, искажая совершенно явление сжатия.

Рассмотрев основную причину трещин при давлении, мы можем дать себе полный отчет в оценке предрассудка, повторяемого безусловно всеми, писавшими о калибровке. Существует мнение, что сильно давить на металл при ковке и прокатке нельзя, что результатом сильного обжатия является разрыв металла.

Принимают обыкновенно, что металл можно осадить в прокатных валах в 1.4—1.5 или 1.6 раза; что при коэффициенте обжатия более 1.75 (до 2) металл рвется в кромках. Однако это оказалось совершенно неверным. В Нейво-Алапаевском заводе был произведен такой опыт: болванка мягкого литого железа размерами 50×50 мм была заострена на строгальном станке (фиг. 8), нагрета очень горячо и задана в валы, диаметр которых равнялся 500 мм, лежавшие один на другом.



Фиг. 9



Фиг. 10

Она была раздавлена в один проход с 50 мм в полосу шириной 75 мм и толщиной 3.5 мм, т. е. в 14 раз, и при этом не было даже признака рванин или трещин. Между тем, как и то, и другое легко было получить, так как полоса прокатывалась в гладких валах, где внешние боковые части полосы имели свободное уширение и могли играть действительно роль оболочки, растягиваемой текущим металлом изнутри.

Объемлющие замкнутые ручьи (фиг. 9) предохраняют железо от трещин гораздо более ручьев, дающих металлу возможность свободного уширения (фиг. 10), ибо давление текущего металла сдерживается в этих случаях не оболочкой самого металла, а стенками калибра или ручья.

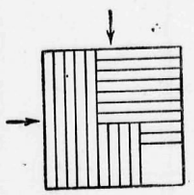
Сернистый, плохо раскисленный литой металл страдает красноломкостью, т. е. наклонностью давать трещины и рванины, составляющие иногда главную причину брака. Иногда этим недостатком страдает и очень хороший по качеству металл, но неправильно разлитый по изложницам; в этом случае трещины суть пороки слитков, а не металла.

Из вышеизложенного ясно, что плохое железо (сернистое и плохо раскисленное) надо катать по возможности в хорошо замкнутых ручьях, дабы не получать поверхностей, предоставленных свободному уширению.

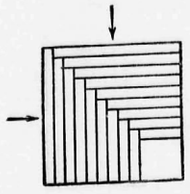
Мы увидим ниже, что иногда при обжимке слитка давят его по несколько раз с одной стороны, потом поворачивают на 90° и давят его с другой стороны опять несколько раз, как показано на схеме (фиг. 11). Эта система хороша для не красноломкого металла. Для металла красноломкого предпочтительнее другая система: после каждого пропуска надо поворачивать слиток на 90° (фиг. 12). Еще лучше вести обжимку в закругленных прямоугольных ручьях, дающих катаные поверхности со всех четырех сторон (фиг. 13).

В какой мере сернистый металл оказывается чувствительным к свободному уширению, указывает нижеследующий пример одного завода юга СССР. На этом заводе отливались слитки с сильно закругленными углами. Обжимную борозду же в прокатных валах делали с мало закругленными углами. При обжимке таких слитков на углах бывали частые трещины и рванины. В этих углах металл, не поддерживаемый стенками калибра, свободно уширялся, и внешняя корка слитка, не выдерживая давления истечения изнутри, легко лопалась.

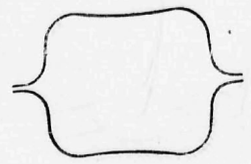
Мы увидим ниже, что новая система обжимных ручьев, обеспечивая поддержку углов слитков, предупреждает тем самым появление в них трещин.



Фиг. 11



Фиг. 12



Фиг. 13

Итак, мы видим, что в видах целости металла есть основание опасаться только свободного уширения при красноломком металле. Хороший, не красноломкий, правильно разлитый в изложницы металл можно подвергать какому угодно давлению даже при условии свободного уширения.[1]

Дени делает такое замечание: хороший металл можно катать как угодно; что же касается плохого металла, то во избежание трещин и рванин на кромках нужно стараться избегать свободного уширения.

Итак, если свободное уширение может сопровождаться иногда трещинами и рванинами на боковых частях прокатываемого слитка, то уширение в замкнутых калибрах от этого обеспечено.

При горячей прокатке, сильных давлениях и в особых случаях калибровки, вызывающих повышенное давление в металле во время прокатки, текучесть металла так велика, что получается в разрезе валов заусенка или зарезина толщиной в лезвие ножа и столь же острая (фиг. 14). Высота этой зарезины-заусенки бывает 10—15—20 мм.

Подумать только, сколько труда и соображений нужно для выделки профилей с фланцами (например, балок, рельсов и т. д.) и какие жалобы мы слышим на то, что фланцы тонки, им даны малые уклоны и т. д., а между тем, в том же прокатном стане, в котором фланец толщиной в 5—6 мм считается трудным для исполнения, выкатываются против нашего желания зарезины в 0.5 мм толщиной.

Получение тонких высоких зарезин свидетельствует с несомненностью, что при надлежащем давлении текучесть металла в прокатном стане бывает весьма велика; как мы увидим ниже, такая текучесть есть следствие по-

---

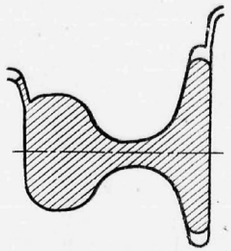
[1] 1. Очевидно, что боковые стенки слитка, проковываемого под молотом или прессом, всегда подвержены свободному уширению, тем не менее, однако, бандажные болванки откобываются в шайбу вертикальным давлением пресса без признаков трещин.

2. При прокатке брони из хромоникелевой стали броневой слиток катается только свреху и снизу, как и всякое котельное железо. Курьезно, что обыкновенный мягкий, мартеновский металл выносит свободное уширение на своих кромках без трещин. Напротив того, кромки брони все в неглубоких рванинах, что указывает, повидимому, на малый процент удлинения этой стали при температуре прокатки.

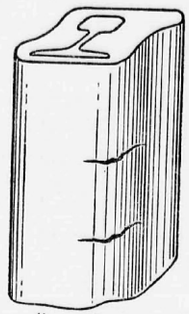
вышенного давления металла, вызванного неравномерным распределением давления по всему сечению.

Высокая степень текучести металла, имеющая место в замкнутых ручьях при полном их выполнении, делает невозможным появление рванин и трещин.

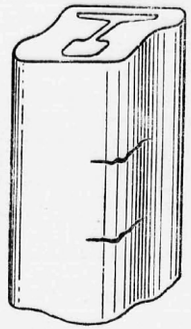
Напротив того, в замкнутых калибрах всякие трещины и рванины закатываются до такой степени, что найти их в готовой прокатанной штуке нет возможности.



Фиг. 14



Фиг. 15



Фиг. 16

Прокатные мастера пользуются этим свойством замкнутых ручьев и выкатывают из слитков с трещинами сходные сорта. Например, при прокатке рельсов нередко приходится иметь дело со слитками, дающими при обжиме трещины (фиг. 15 и 16). Чтобы выкатать из такого слитка сходный рельс, необходимо задать обжатый в квадрат слиток в отделочные валы так, чтобы рванина не попала на фланец (фиг. 15), где металл подвергается свободному уширению и рванина может только растянуться, а не закататься. Рванина же, попавшая в шейку или в головку рельса, закатывается (фиг. 16). Процесс закатывания происходит так, что металл выжимается из глубины трещины, трещина растягивается и получившаяся неровность заглаживается прокатным валом, оставляя в худшем случае только пленочку, обыкновенно же неровность исчезает совершенно.

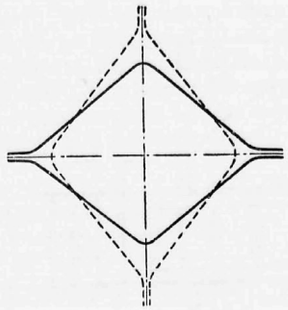
В прокатном деле считаются поэтому опасными трещины на кромках болванки, подвергающихся свободному уширению. Трещины в середине, не на кромке, не считаются опасными, ибо закатываются чисто в черновых ромбических ручьях. Прокатка в ромбических ручьях идет с поворотом каждый раз на 90°, причем каждая кромка то катается в замкнутой части калибра, то подвергается свободному уширению (фиг. 17). При таком чередовании нет уверенности в том, что болванка с трещинами на кромках хорошо прокатается. Все трещины на гранях ромбов закатываются прекрасно, что же касается углов ромба, то возможны сомнения. Чтобы обеспечить полную закатку всех трещин, было бы желательно углы ромба обратить в грани, а грани обратить в углы, как показано на фиг. 18, так как при металле средних качеств очень трудно бывает обеспечить наивысший процент сходного железа. Как мы увидим ниже, это достигается введением в ряд ромбов овального ручья. Отметив крестиками на фиг. 19 углы первоначального ромба, мы увидим, что в ромбе, полученном из эллипса, углы заместили грани, а грани заместили углы.

Итак, 1) появление тонких зарезин, 2) процесс закатки трещин в болванках убеждают нас в том, что в процессе прокатки мы действительно имеем дело с истечением металла под давлением. Если это так, то все явления уширения должны быть функцией трех переменных:

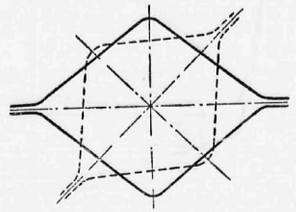
1) температуры обрабатываемого железа, от которой зависит величина механического трения или текучести металла (внутреннего трения);

2) трения между частицами железа и материалом валов;

3) скорости истечения.



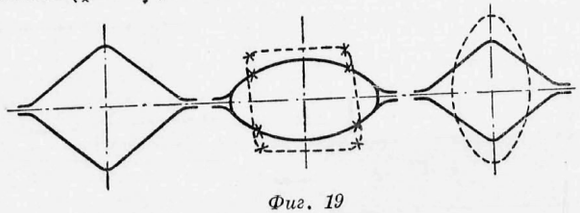
Фиг. 17



Фиг. 18

Прежде чем рассматривать эти зависимости, опишем некоторые опыты, произведенные Дени, разъясняющие явление уширения.

Механизм явления уширения. Была взята полоса свинца 34.5×21 мм; в расстоянии 5.5 мм от края были проведены две линии вдоль полосы (фиг. 20). Полоса задана в валы, диаметр которых 200 мм,



Фиг. 19

и прокатана в полосу в 10.8 мм (вертикальное давление 11.2 мм), при этом:
а) кромки полосы в 5.5 мм ширины уширились до 8.5 мм (на 55%);
б) середина полосы 23.5 мм ширины уширилась до 25.5 мм (на 9%).

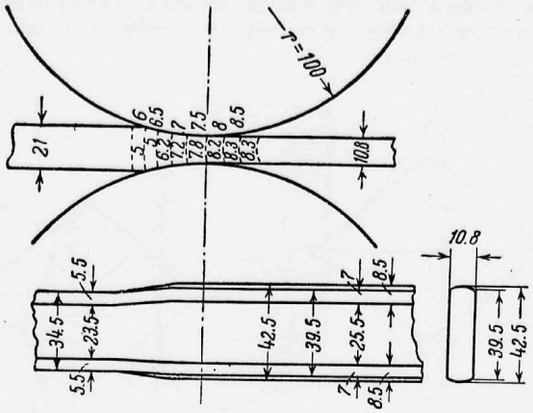
Отсюда следует, что уширение происходит главным образом на кромках полосы. [1]

Как объяснить это явление с точки зрения истечения? Мы уже видели при раздавливании свинцовых кружков разных диаметров, что чем больше диаметр кружков, тем большее давление на 1 мм² нужно для осадки такого кружка. Это объясняется пространством, на которое должен быть перемещен металл при раздавливании кружков большого диаметра, а следо-

[1] При осадке низкого цилиндра гладкими бойками молота или пресса это давление может видоизмениться. Может оно измениться и от температурных условий, если коэффициент трения сжимаемого металла о поверхности бойков изменяется с изменением температуры. *Прим. Н. А. Соболевского.*

вательно, необходимостью сообщить текущему металлу скорость для такого перемещения, если только раздавливание производится быстро.

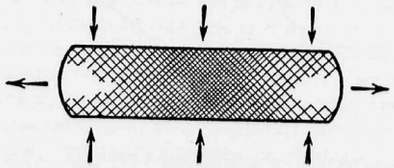
На развитие такой скорости перемещения нужно употребить избыточное давление. Изобразив тенями распределение давления по сечению сдавливаемого прессом образца, мы получим примерно такую фигуру (фиг. 21).



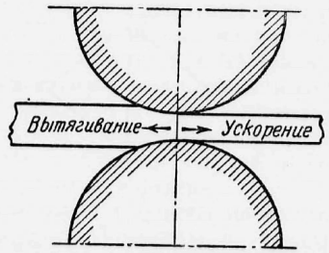
Фиг. 20

Давление в центре полосы будет больше, а по краям меньше, следовательно, такое распределение давления в образце есть необходимое условие равномерного уширения.

Имеем ли мы при прокатке необходимые условия для такого уширения? Конечно, нет.



Фиг. 21



Фиг. 22

Под влиянием давления в валах истечение возможно не только в стороны (что дает уширение), но и назад (что дает вытягивание) и вперед (ускорение), а потому, повышая давление в середине полосы, мы увеличим истечение металла из середины полосы и вперед и назад (ускорение и вытягивание, фиг. 22). Увеличение это произойдет, конечно, за счет уширения.

Скорость, с которой полоса покидает валы, больше скорости на окружности валов. Ускорение может быть объяснено как следствие затруднительности для металла удлиняться в сторону задачи. Оно уменьшается с уменьшением давления и увеличением диаметра валов.

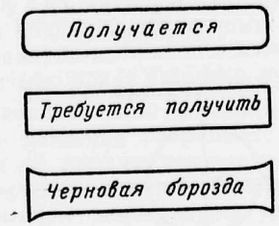
Итак, меньшее уширение средней части полосы, прокатываемой в валах, есть явление вполне логичное. Возможность для металла средней

части полосы вытечь в стороны наименьшего сопротивления — назад и вперед — не допускает получения в середине полосы давления, увеличенного в такой степени, чтобы получить для средней части такое же уширение, как для кромок полосы.

Уширение в миллиметрах для полос разной ширины одинаково. Следовательно, *уширение не зависит от ширины полосы.*

Из этого следует, что узенькое сортовое железо и котельный лист при обжиме уширяются одинаково, т. е. при одинаковом вертикальном обжатии на одинаковое число миллиметров.

Например, катали квадратную болванку 42×42 мм в четырех плоских калибрах до толщины 10 мм и получили полосу 50 мм ширины; уширение равно 8 мм. Если бы мы катали лист в 1 м ширины с 42 до 10 мм, то, по предыдущему, получили бы ширину листа, примерно, 1008 мм. Уширение на 8 мм при ширине 42 мм очень значительно, уширение на те же 8 мм при ширине в 100 мм ничтожно.



Фиг. 23



Фиг. 24

Вот почему при прокатке сортового железа уширение ставится на первом плане, об уширении же при прокатке листового железа никто не думает, как будто бы его совсем нет, ибо оно теряется в неровностях кромки листа.

Мы увидим ниже, что благодаря уширению кромок широких полос и отсутствию уширения центральных волокон широкополосное железо очень трудно получить хорошо выполненным.

Обыкновенно в углах бывает недостаточно железа. Это легко объясняется тем, что середина полосы только тянется, кромки же и тянутся и уширяются; естественно, что они тянутся валами меньше середины, которая поэтому утягивает углы. Беда поправляется калибровщиками тем, что черновым бороздам придается вид, изображенный на фиг. 23.

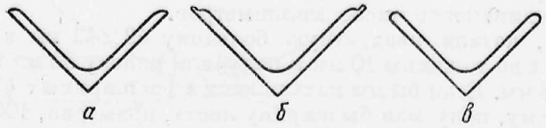
При прокатке коробчатого железа по той же причине происходит втягивание уголков — округление углов коробки (фиг. 24). Недостатки эти исправляются прибавкой железа в черновых бороздах в утягиваемых частях профиля.

Зависимость уширения от температуры. Повседневная практика прокатного дела указывает нам, что уширение застуженного металла всегда более уширения железа, горячо прокатанного.

Если катать угловое железо, то получение идеально правильного профиля (фиг. 25, *а*) представляет непреодолимые трудности: чуть-чуть застуженная полоса дает железо с заусенками (фиг. 25, *б*), прокатанная слишком горячо дает невыполненные кромки (фиг. 25, *в*). Если слиток или заготовка, из которой катается уголок, был нагрет не совсем ровно и один конец его выдан из печи холоднее другого или просто застужен, то холодный конец уголка выйдет с заусенком, а горячий не выполнится. Не-

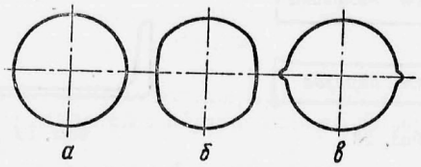
постоянство формы углового железа так велико, что многие заводы решили катать все угловое железо с заусенками, а затем обрабатывать его на специальных машинах круглыми ножницами, хотя это имеет свои серьезные неудобства.[1]

То, что написано об угловом железе, можно сказать и о круглом, которое выкатывается — холодное с прикатом (фиг. 26, *в*), горячее с недостачей (фиг. 26, *б*).



Фиг. 25

Балки, корытное железо, рельсы холодные выкатываются с фланцами, выполненными лучше, чем при высокой температуре. Причина этого явления одна: уширение железа увеличивается с понижением температуры. Для подтверждения этого положения Дени произвел такой опыт: полоска



Фиг. 26

40×6 мм пропускалась один раз через гладкие валы в 300 мм диаметром и дала: 1) при *белом калении* полосу 43.9×2.6 мм, т. е. уширилась на 3.9 мм при осадке в 3.4 мм, или в 3.9 : 3.4=1.14 раза; 2) при *вишневом калении*: 46.7×3.5 мм, т. е. уширилась на 6.7 мм при осадке в 2.5 мм, или в 6.7 : 2.5=2.68 раза.

Как объяснить увеличение уширения с точки зрения истечения?

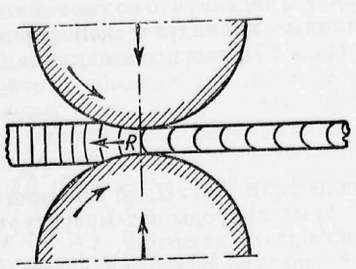
Мы видели, что перед валами в прокатываемой полосе образуется очаг повышенного давления (фиг. 27). Под влиянием его металл течет назад, вперед и в бока. Свободному истечению назад, т. е. вытягиванию, препятствуют две причины: 1) вязкость металла — одни частицы, увлекаемые трением валов, направляются вперед, а другие, выжимаемые силой R,— назад (фиг. 28); 2) трение между частицами металла и материалом валов во время скольжения выжимаемой назад полосы, т. е. ее попятного движения.

Для истечения металла вперед (опережения) существует только одно препятствие в вязкости металла, ибо для осуществления опережения необходимо, чтобы внутренние частицы полосы двигались скорее наружных, влияние трения между валами и полосой здесь, вероятно, очень незначительно.

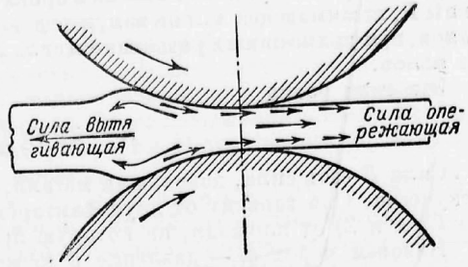
Повидимому, можно считать, что при пониженной температуре увеличивается опережение (ускорение) металла и уширение за счет вытя-

[1] Так катаются угольники, главным образом для котельных работ, где требуется чеканка кромок. Закругленную кромку чеканить нельзя. *Прим. Н. А. Соболевского.*

гивания потому, что сопротивление вытягиванию с понижением температуры возрастает в такой степени, что металл, следуя по пути наименьшего сопротивления, направляется в сторону уширения и опережения. В самом деле, в вытягиваемой части полосы должны быть возбуждены две скорости: 1) поверхностная — вперед, 2) глубинная — назад. Возбудить их в горячем металле нетрудно, для возбуждения же их в холодном металле надо



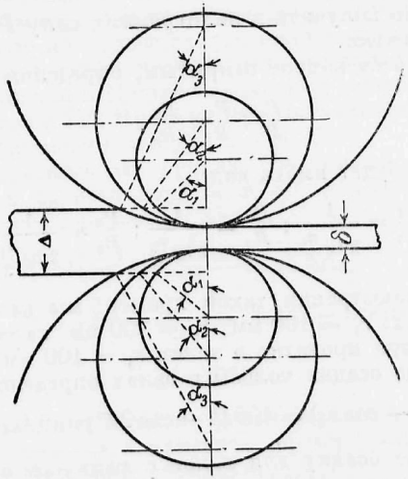
Фиг. 27



Фиг. 28

развить значительные давления в очаге прокатываемой полосы. Это избыточное давление разряжается усиленным уширением и опережением, несмотря на плохую текучесть остывшего металла.

Не настаивая на этом объяснении, мы должны считаться с фактом, что с понижением температуры уширение увеличивается.



Фиг. 29

Зависимость уширения от диаметра валов, или, что то же, от величины угла захвата. Если мы одну и ту же полосу будем катать в валах разного диаметра, то угол захвата будет различен, что видно из фиг. 29.

Если толщину полосы до поступления ее в валы назовем через Δ, а по выходе из валов δ, то осадка полосы в валах будет равна $\Delta - \delta$.

Назвав радиусы валов через r_1, r_2 и r_3, получим:

$$\frac{\Delta-\delta}{2}=r_1(1-\cos\alpha_1)=r_2(1-\cos\alpha_2)=r_3(1-\cos\alpha_3).$$

Отсюда нетрудно получить величину углов захвата при прокатке одной и той же полосы при валах различного диаметра.

Рассматривая сущность явления прокатки, мы видели, что под влиянием силы P, нажимающей вал на вал, и под влиянием цилиндрической формы валов, при движении их развивается сила R (фиг. 27), выжимающая металл из валов.

Эта сила равна

$$R=2P\operatorname{tg}\frac{\alpha}{2}.$$

Сила P есть сила, доводящая металл, попавший в валы, до состояния текучести. Она зависит от двух факторов: 1) от природы и температуры металла и 2) от площади, на которую производится давление.

Назовем через q_t — давление в кг/мм², доводящее металл до текучести.

Из чертежа видно, что поверхность, а вернее горизонтальная проекция ее, давящая на полосу, равна ее ширине, умноженной на $r_1\sin\alpha_1$ или $r_2\sin\alpha_2$ или $r_3\sin\alpha_3$ соответственно тому, в каких валах происходит прокатка. Поэтому при ширине полосы, равной единице,

$$P_1=q_t\cdot r_1\sin\alpha_1;\quad P_2=q_t\cdot r_2\sin\alpha_2;$$

$$P_3=q_t\cdot r_3\sin\alpha_3.$$

Отсюда нетрудно получить в килограммах силу P и силу R для всех трех случаев прокатки.

Оставляя пока этот вопрос открытым, определим соотношение сил

$$\frac{P_1}{R_1};\ \frac{P_2}{R_2};\ \frac{P_3}{R_3}.$$

Оно, очевидно, будет иметь вид:

$$\frac{P_1}{R_1}=\frac{1}{2\operatorname{tg}\frac{\alpha_1}{2}};\quad \frac{P_2}{R_2}=\frac{1}{2\operatorname{tg}\frac{\alpha_2}{2}};\quad \frac{P_3}{R_3}=\frac{1}{2\operatorname{tg}\frac{\alpha_3}{2}}.$$

Возьмем для иллюстрации такой пример: мы катали одну и ту же полосу в трех валах: $r_1=100$ мм, $r_2=200$ мм, $r_3=300$ мм.

Допустим, что при прокатке в валах $r_1=100$ мм допущен был угол захвата в 20°, тогда осадка полосы в валах определится:

$$r_1(1-\cos\alpha_1)=100\,(1-\cos 20^\circ)=6.03\ \text{мм}.$$

Сохраняя ту же осадку для валов с радиусом в 200 и 300 мм, мы получим $\alpha_2=14^\circ$ и $\alpha_3=11^\circ30'$. Делая вычисления далее, мы найдем, что при

$$\alpha=20^\circ,\ r_1=100\ \text{мм};\ \frac{P_1}{R_1}=\frac{1}{2\operatorname{tg}10^\circ}=\frac{1}{2\cdot0.16}\approx3;$$

$$\alpha=14^\circ,\ r_2=200\ \text{мм};\ \frac{P_2}{R_2}=\frac{1}{2\operatorname{tg}7^\circ}=\frac{1}{2\cdot0.123}\approx4;$$

$$\alpha=11^\circ30',\ r_3=300\ \text{мм};\ \frac{P_3}{R_3}=\frac{1}{2\operatorname{tg}5^\circ45'}=\frac{1}{2\cdot0.101}\approx5.$$

Таким образом, с увеличением диаметра валов, выжимающая металл сила уменьшается. Иначе говоря, чем более плоски бойки, тем сила, помогающая вытягиванию полосы, относительно меньше, тем выше устанавливается давление в очаге перед валами, тем больше уширение полосы.

Итак, *уширение увеличивается с уменьшением угла захвата и увеличением диаметра валов.*[1]

Зависимость уширения от коэффициента обжатия. Увеличение уширения с увеличением быстроты работы. При энергичной работе, большом коэффициенте обжатия мы должны увеличить скорость истечения металла из валов. Это можно достигнуть только одним средством: повышением давления в очаге перед валами. Однако, такое повышение давления в очаге скажется сейчас же на увеличении уширения. И действительно, энергичная работа сказывается на уширении.

Об угле захвата и о коэффициенте трения между полосой и валами. Всякий прокатный мастер заинтересован использовать свой стан для возможно быстрой вытяжки металла в валах. Сопротивление металла обработке быстро увеличивается с понижением температуры, а потому всегда выгодно обжимать металл быстро и энергично, не давая ему возможности остынуть.

Для энергичного обжатия полосы в валах нередко встречается препятствие, совершенно неожиданное для новичков прокатного дела. Валы не берут полосы, или взятая ими полоса останавливается в валах.

Углы захвата 20°30′ и 23°45′ являются пределами, при которых полоса может еще захватываться. Предельность угла захвата в 21—25° подтверждается многими наблюдениями практики. Так, например, в Нейво-Алапаевском заводе при прокатке листовой болванки для кровельного железа в одном из ручьев захваченная полоса постоянно останавливалась. При исследовании угол захвата оказался 26°.

При обжиме слитков в Нижне-Салдинском заводе предельным углом захвата оказался угол в 22°. Предельный угол захвата завода Пине 26°30′, Сталинского (б. Юзовского) завода 21—23°30′.

Впрочем в разрезывемых ручьях (см. ниже) для балок можно работать при углах захвата даже в 36°30′ (!!). Заготовка 185×180 мм разрезывается в балку с шейкой в 35 мм:

$$\frac{\Delta-\delta}{2}=\frac{185-35}{2}=75\ \text{мм};$$

$$75=r(1-\cos\alpha)=382\,(1-\cos\alpha),$$

откуда

$$\alpha=36^\circ30'.$$

Во всяком случае, при больших углах захвата валы берут трудно, не сразу; происходит заминка в маневрах, время прокатки увеличивается, и выгоды сильных давлений теряются.

Из рассмотрения сущности явления прокатки мы видели, что выжимающая металл из валов сила

$$R=2P\operatorname{tg}\frac{\alpha}{2}.$$

[1] От практиков-калибровщиков можно услышать такое выражение, что тонкие валы малого диаметра тянут железо лучше, чем толстые валы большого диаметра, которые не тянут, а давят железо. Из предыдущего видно, что мнение это имеет под собой реальную почву. *Прим. Н. А. Соболевского.*

Вместе с тем, очевидно, что прокатка возможна до тех пор, пока сила трения между полосой и валами больше этой силы.

Сила трения равна (фиг. 30):

$$2fP = 2P \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2},$$

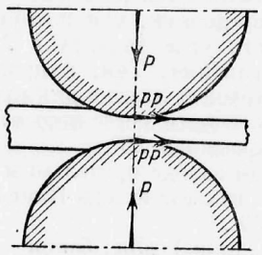
откуда

$$f = \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}.$$

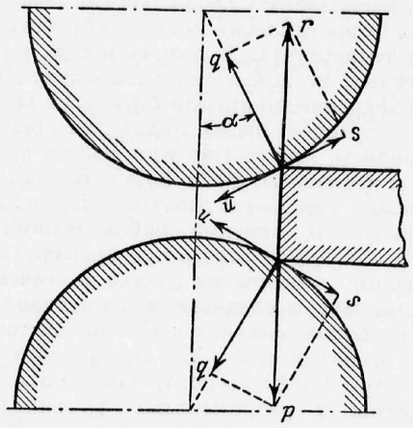
Полоса останавливается при

$$\alpha = 22 - 24^\circ; \quad f = \operatorname{tg} \frac{23}{2} = \operatorname{tg} 11^\circ 30' = 0.2.$$

Отсюда ясно, что коэффициент трения раскаленного железа по чугуну равен 0.2, величина, выведенная многими авторами совершенно другими путями и обыкновенно принимаемая на практике.



Фиг. 30



Фиг. 31

Момент захвата полосы валами (фиг. 31):

$$u > s; \quad u = fq; \quad s = q \operatorname{tg} \alpha;$$

$$fq > q \operatorname{tg} \alpha, \quad f > \operatorname{tg} \alpha,$$

т. е. коэффициент трения должен быть больше tg угла захвата.

Выведем формулу для обжатия Δ:

$$\frac{\Delta}{2} = r(1 - \cos \alpha); \quad f = \operatorname{tg} \alpha; \quad \cos \alpha = \frac{\sin \alpha}{\operatorname{tg} \alpha} = \frac{\sin \alpha}{f}.$$

Тогда

$$\frac{\Delta}{2} = r\left(1 - \frac{\sin \alpha}{f}\right).$$

Но

$$\cos \alpha = \sqrt{1 - \sin^2 \alpha}; \quad \frac{\sin \alpha}{f} = \sqrt{1 - \sin^2 \alpha};$$

$$\sin \alpha = \sqrt{\frac{f^2}{1 + f^2}},$$

откуда

$$\frac{\Delta}{2} = r\left(1 - \frac{1}{f}\sqrt{\frac{f^2}{1 + f^2}}\right) = r\left(1 - \sqrt{\frac{1}{1 + f^2}}\right);$$

$$\Delta = d\left(1 - \sqrt{\frac{1}{1 + f^2}}\right).$$

Обжатие пропорционально диаметру валов, увеличивается с увеличением трения, а следовательно, с температурой; оно не зависит от толщины полосы и силы давления или сопротивления полосы обжатию.

Холодные валы берут хуже, также обильно поливаемые водой, покрытые ржавчиной.

Применение формулы:

$$f = 0.4; \quad \Delta = d\left(1 - \sqrt{\frac{1}{1 + 0.4^2}}\right) = 0.072\, d \approx \frac{1}{15} d;$$

$$f = 0.3; \quad \Delta = d\left(1 - \sqrt{\frac{1}{1 + 0.3^2}}\right) = 0.043\, d \approx \frac{1}{25} d.$$

Та же формула при одном свободном валке будет иметь вид:

$$f = 2 \operatorname{tg} \alpha; \quad \cos \alpha = \frac{\sin \alpha}{\operatorname{tg} \alpha} = \frac{2 \sin \alpha}{f};$$

$$\frac{\Delta}{2} = r(1 - \cos \alpha) = r\left(1 - \frac{2 \sin \alpha}{f}\right); \quad \cos \alpha = \sqrt{1 - \sin^2 \alpha};$$

$$\frac{2 \sin \alpha}{f} = \sqrt{1 - \sin^2 \alpha}; \quad \sin \alpha = \sqrt{\frac{f^2}{f^2 + 4}};$$

$$\frac{\Delta}{2} = r\left(1 - 2\sqrt{\frac{1}{f^2 + 4}}\right); \quad \Delta = d\left(1 - 2\sqrt{\frac{1}{f^2 + 4}}\right);$$

При

$$f = 0.4, \quad \Delta = d\left(1 - 2\sqrt{\frac{1}{0.4^2 + 4}}\right) = 0.018\, d \approx \frac{1}{55} d;$$

$$f = 0.3, \quad \Delta = d\left(1 - 2\sqrt{\frac{1}{0.3^2 + 4}}\right) = 0.010\, d \approx \frac{1}{100} d.$$

О п ы т ы. Валки диаметром 400 мм; хорошо бралась полоса при давлении в 28 мм; при давлении в 34 мм прилагалось усилие:

$$\Delta = 28 \text{ мм}; \quad \frac{\Delta}{2} = 14 = r(1 - \cos \alpha);$$

$$\cos \alpha = 1 - \frac{\Delta}{2r} = 1 - \frac{28}{200} = 0.93;$$

$$\alpha = 21^\circ 30'; \quad \operatorname{tg} \alpha = f = 0.394 \approx 0.4.$$

$$\Delta = 34 \text{ мм}; \quad \cos \alpha = 1 - \frac{34}{200} = 0.915; \quad \alpha = 23^\circ 45'; \quad \operatorname{tg} \alpha \approx 0.44.$$

Валки диаметром 300 мм; один вал свободен; температура 700° Ц. Валы отказываются брать полосу при Δ более 3 мм.

$$\cos \alpha = 1 - \frac{3}{300} = 0.99; \quad \alpha = 8^\circ; \quad \operatorname{tg} \alpha = f = 0.28.$$

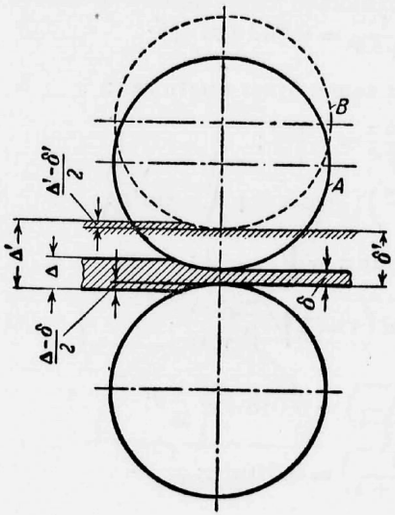
В действительности высокого коэффициента трения на практике достигают «насечкой» валов для увеличения трения.

Гладкие валы имеют меньший коэффициент трения и хуже берут железо, чем насеченные и особенно долго работавшие шероховатые валы.

Независимость угла захвата от толщины полосы. Угол захвата не зависит от толщины полосы, а только от величины обжатия. В самом деле, мы видели, что угол α определяется из выражения

$$\frac{\Delta - \delta}{2} = r(1 - \cos\alpha).$$

В этом выражении абсолютное значение Δ и δ не играет роли. Величина α зависит от полуразности их $\frac{\Delta - \delta}{2}$, поэтому на листовом стане, например, можно успешно катать очень толстые броневые слитки. Стан одинаково хорошо берет в положениях верхнего валка A и B, если только величина обжатия $\frac{\Delta - \delta}{2}$ в обоих случаях одинакова (фиг. 32). Определим максимальное обжатие, допускаемое углом захвата.



Фиг. 32

Из выражения

$$\frac{\Delta - \delta}{2} = r(1 - \cos\alpha)$$

следует, что

$$\frac{\Delta - \delta}{2r} = 1 - \cos\alpha.$$

При предельном угле в 25° получим

$$\frac{\Delta - \delta}{2r} = 1 - 0.9 = 0.1 \quad \text{и}$$

$$\frac{\Delta - \delta}{r} = 0.2;$$

$$\frac{\Delta - \delta}{D} = \frac{1}{10}.$$

При хорошем захвате валков предельность $\alpha = 20°$:

$$\frac{\Delta - \delta}{r} = 0.12; \quad \frac{\Delta - \delta}{D} = \frac{1}{17},$$

т. е. полная величина обжатия не может превосходить $^1/_5$ радиуса или $^1/_{10}$ диаметра вала. Хороший захват валов гарантируется при обжатии, равном $^1/_{17}$ диаметра валов.

Обжим слитков стараются вести при максимальных давлениях, чтобы по возможности скорее перейти от слитка к заготовке требуемого размера, но при прокатке слитков обычно не переходят предела обжатия в 2 дюйма или 50 мм, объяснение чему нетрудно найти в предыдущем.

Действительно, для того чтобы захват был очень хорош при обжатии в ручье, вал должен иметь $D = 2'' \times 17 = 34'' = 850$ мм, работа будет возможна при диаметре вала в ручье $2'' \times 10 = 20'' = 500$ мм.

Приняв же в расчет углубление калибров в тело валиков, мы найдем, что при 2 дюймах обжатия начальные диаметры валов выйдут для хорошей легкой задачи около 1100 или 1200 мм, а для предельной работы — около 800 мм, т. е. те пределы для диаметра валов блюминга, которые наблюдаются в практике.

ПРИМЕЧАНИЕ РЕДАКТОРА

Приведенная работа представляет собой сокращенную главу из конспекта лекций по прокатке В. Е. Грум-Гржимайло, изданного в литографированном виде в 1909 г. и переизданного после его смерти в 1931 г.

При жизни он не издавал этой книги. «Вопрос о калибровке мной не решен»,— говорил В. Е., когда вопрос заходил об опубликовании его работ по прокатке и калибровке. В течение последних лет своей жизни он сравнительно мало времени уделял этому вопросу, перепоручив это дело своему другу и помощнику Н. А. Соболевскому по части прокатки и Н. А. Шилкову по части калибровки. Втроем они фактически представляли тот консультационный центр, к которому заводы часто обращались в трудные минуты.

Но вместе с тем нельзя пройти, не остановившись, мимо работ В. Е. в этой области, нельзя не отметить калибровку рельса за 7 проходов, установленную им в Нижней Салде в то время, когда рельсы катались в 9 и 11 проходов.

Его книга «Прокатка и калибровка», в сущности говоря, представляет собой первый труд, в котором имеется частичное освещение «тайн калибровки», труд, который заложил начало для теоретического изучения этого вопроса. Помещенная в настоящем сборнике глава, в которой он излагает свои взгляды на явления, происходящие между валками при прокатке, раскрывает суть процесса прокатки.

Не касаясь других вопросов, затронутых в книге, отметим одно из практических правил калибровки балок, которое должно быть распространено на другие профили и которое в настоящее время иногда называют правилом Грум-Гржимайло:

«Правильное выполнение калибра балок возможно только тогда, когда шейка и фланцы (открытые и закрытые) получают один коэффициент уменьшения площади».

ОСНОВЫ ТЕОРИИ ПРОИЗВОДСТВА СТАЛИ[1]

ПОРЯДОК ГОРЕНИЯ ПРИМЕСЕЙ ПРИ БЕССЕМЕРОВАНИИ

ГОРЕНИЕ ЖЕЛЕЗА КАК ПЕРВИЧНАЯ РЕАКЦИЯ

Чугун, подвергающийся бессемерованию, состоит в среднем из следующих составных частей в процентах по весу:

Железа	92—95
Углерода	3.5—4.5
Кремния	1.0—2.5
Марганца	0.5—2.5

Подавляющая составная часть чугуна — железо, а потому ясно, что по закону масс продуваемый через слой чугуна воздух прежде всего соединится с железом по реакции:

$$Fe + O = FeO + 66\,713 \text{ кал.}$$

Тепла, выделяемого этой реакцией, с избытком хватит для нагревания продуктов реакции и останется на нагревание ванны, в зависимости от температуры ванны, от 2.872 до 2.396 кал на весовую единицу кислорода. Получающаяся по реакции закись железа растворима в железе, что обусловливает возможность передачи ею своего кислорода другим составным частям чугуна. Если бы закись железа не растворялась в железе, то, очевидно, бессемерование было бы невозможно, потому что реакция горения примесей должна итти в конверторе с такой быстротой, которая возможна только при взаимодействии жидких растворов.

Таким образом, для осуществления бессемерования необходима прежде всего наличность энергичного горения железа в закись его. А эта реакция ($Fe + O = FeO$) известна нам как идущая только в направлении окисления железа. Обратная реакция разложения закиси железа на железо и кислород нам неизвестна. Отсюда следует, что реакция окисления железа должна итти при всех температурах, до самых высоких включительно.

Железо при всех температурах легко окисляется, в чем убеждает нас и повседневный опыт. При низких температурах оно ржавеет, образуя водную окись; при температурах более высоких оно покрывается слоем

[1] Выдержки из книги В. Е. Грум-Гржимайло «Производство стали», ГНТИ, М.—Л., 1931. Нумерация фигур и таблиц изменена.

окалины. Расплавленное железо и чугун окисляются очень быстро, однако не всегда с тою быстротою, которая требуется при продувке.

Приблизительный подсчет дает для времени реакции кислорода на ванну сотые доли секунды. Это такое малое время, и не удивительно, что не всегда весь кислород воздуха успевает поглотиться ванной, и нередки случаи, когда мы находим свободный кислород в газах конвертора.

Из сказанного ясно, почему для начала бессемерования требуется такая начальная температура чугуна, при которой скорость реакции окисления железа была бы достаточно велика. При малой скорости реакции через ванну будет проходить не используемый воздух, который, нагреваясь за счет тепла ванны, может в такой мере уменьшить теплоту, получаемую от горения железа, что ванна будет охлаждаться. Железо будет гореть, температура же ванны конвертора не поднимется, и чугун в конце концов застынет, не зажегшись. При первых опытах бессемерования такие случаи наблюдались нередко.

Подсчитаем, при какой степени утилизации воздуха железо будет окисляться без подъема температуры ванны.

По реакции:

$$Fe + \frac{O_2 + 3.762\,N_2}{2} = FeO + 1.881\,N_2 + 66\,713 \text{ кал.}$$

56 кг железа соединяются с 16 кг кислорода воздуха и выделяют 66 713 кал.

Это тепло должно нагреть до температуры ванны, допустим, только до 1100°, продукты реакции и избыток воздуха.

Делаем допущение, что теплота, переданная продуктам реакции, равняется теплоте, которую надо затратить на подогрев до температуры ванны воздуха, употребленного для реакции. Таким образом, вся теплота реакции, по условиям задания, пойдет на нагрев, во-первых,

$$\frac{1 + 3.762}{2} = 2.381 \text{ кг-мол}$$

воздуха, употребленного для окисления, и, во-вторых, избыточного воздуха. На нагрев 1 кг-мол воздуха до 1100° затрачивается 7 940 кал, а потому всего теплотой реакции может быть нагрето до 1100°

$$66\,713 : 7940 = 8.402 \text{ кг-мол воздуха.}$$

Полезно утилизировано воздуха 2.381 кг-мол.

Избыточного воздуха будет: 8.402—2.381=6.021 кг-мол, или $(6.021 : 8.402) \cdot 100 = 72\%$ всего дутья.

Итак, если $^3/_4$ дутья проходит ванну, не утилизируясь, то операция зажечься не может. Железо будет гореть, а ванна вследствие лучеиспускания — стынуть, и операция не зажжется.

Такие случаи в Воткинском заводе описывает горн. инж. Иосса в своей работе.

Обыкновенно в заводах избегают вливать в реторту стылый чугун, тем не менее, свободный кислород в анализах первых проб бессемеровских газов наблюдается довольно часто.

Чтобы подтвердить это положение, мною в Нижней Салде было сделано три операции: для первой был взят жидкий доменный чугун прямо из домен; остальные две были сделаны из такого же чугуна, но перегретого в печах Сименса до температуры около 1350°.

Состав газов их виден из табл. 1. При бессемеровании чугуна прямо из домны (операция № 2523), при температуре его около 1250°, в первой пробе определено неутилизированного кислорода 8.8%, во второй пробе 2%

и в третьей 0.8%. Через 5 минут от начала задувки свободный кислород в газах исчезает.

В операции из подогретого до 1350—1400° чугуна в первой пробе встречаются только следы свободного кислорода, исчезающие в первую же минуту бессемерования.

Из этих анализов очевидно, что если в реторту поступает *недостаточно* горячий чугун, то для полного поглощения кислорода ванной времени воздействия кислорода воздуха на металл ванны оказывается мало, часть кислорода проходит через ванну, не вступив с ней в реакцию.

Повышение температуры влитого в реторту чугуна увеличивает скорость реакции $Fe + O = FeO$, а потому в этом случае в газах оказываются только следы непоглощенного кислорода.

Ниже мы увидим, что затяжка первого периода бессемерования, вследствие низкой температуры вливаемого в реторту чугуна, есть явление чрезвычайно распространенное. Это — болезнь процесса, в которой сталевары разбираются очень мало и на которую должно быть обращено самое серьезное внимание.

Мы всегда должны помнить два основных закона физической химии:

1) по закону масс в реторте прежде всего горит железо;

2) скорость горения железа, как и всякой реакции, есть функция температуры.

Время воздействия кислорода воздуха на чугун ничтожно, а потому в бессемеровском конверторе все реакции должны итти быстро; если же горение железа идет вяло, то кислород воздуха остается частью неиспользованным, и избыток продуваемого воздуха может застудить ванну.

ВТОРИЧНЫЕ РЕАКЦИИ: ГОРЕНИЕ КРЕМНИЯ, МАРГАНЦА И УГЛЕРОДА

Если температура влитого в реторту чугуна достаточна для более или менее полного усвоения кислорода дутья железом ванны, то результатом этой реакции является закись железа, растворяющаяся в чугуне.

Из своих многочисленных исследований над растворимостью закиси железа в железе Ледебур пришел к заключению, что в жидком железе может быть растворено до 1.1% FeO (что соответствует около 0.25% O_2). Однако такое количество закиси в железе может быть найдено только при отсутствии в железе элементов, могущих восстановить FeO, а именно: углерода, кремния, марганца и других восстановителей. В железе, в котором имеются примеси восстановителей, закись железа разлагается и может быть определена в заметных количествах только в том случае, если железо застыло ранее, чем подействовали восстановители. Поэтому из того факта, что обыкновенно в чугуне мы не находим закиси железа или находим только следы ее, не следует, что закись железа нерастворима в чугуне.

Реакции, разлагающие непрерывно образующуюся в ванне под воздействием дутья закись железа, суть следующие:

$$2FeO + Si = SiO_2 + 2Fe + 62\,994 \text{ кал},$$

$$FeO + Mn = MnO + Fe + 24\,047 \text{ кал},$$

$$\begin{cases} FeO + C = CO + Fe - 37\,283 \text{ кал}, \\ 2FeO + C = CO_2 + 2Fe - 35\,776 \text{ кал}. \end{cases}$$

В начале продувки температура ванны обыкновенно не очень высока, и эти реакции идут довольно вяло, благодаря чему в ванне устанавливается заметная концентрация растворенной закиси железа. Внешним образом это выражается в появлении бурых паров Fe_2O_3 в пламени реторты и, кроме того, тотчас, как только ванна начнет разогреваться, в реторте начинаются обильные всплески, которые мы имеем все основания считать за результат воздействия углерода на пересыщенный раствор закиси железа в железе, т. е. следствием реакции

$$FeO + C = Fe + CO - 37\,283 \text{ кал},$$

которая благодаря изменившимся температурным условиям приобретает взрывной характер.

Итак, при несколько холодном начале продувки мы получаем ванну, *обогащенную* закисью железа.

Напротив того, при горячем начале продувки, когда высокая температура ванны уменьшает «*химическое трение*» вторичных реакций и тем увеличивает их скорость, ванна получается *обедненной* закисью железа.

И в том, и в другом случае скорость вторичных реакций должна итти в темпе первичной реакции горения железа в его закись. Разница в горячем и холодном ходе продува будет только в степени насыщенности ванны закисью железа.

Выше мы видели, что вторичных реакций три. За счет закиси железа могут гореть кремний, марганец и углерод. Теперь является вопрос, которая из этих трех реакций получит развитие в данный момент? Очевидно, что из трех возможных реакций пойдет та, которая дает надлежащую скорость разложения непрерывно образующейся закиси железа и создает наименьшую концентрацию закиси железа в ванне.

Отсюда следует, что в реторте само собой всегда устанавливается наименьшая концентрация раствора закиси железа в железе. Горит же во всякий данный момент та примесь чугуна, для окисления которой условия в этот момент наиболее благоприятны. Как только физические условия ванны меняются и делаются более благоприятными для горения другой примеси, эта последняя устанавливает более низкую концентрацию закиси железа и тем останавливает горение первой примеси.

Возможен и другой случай, когда физические условия для горения первой примеси делаются неблагоприятными и горение ее замедляется. Происходит увеличение концентрации закиси железа в ванне, и тогда возможны два случая:

1) загорится та примесь, которая ранее гореть не могла;

2) будет продолжаться горение той же примеси, но при повышенной концентрации закиси железа в ванне.

Таким образом, в конце концов, всегда результатом продувки будет ванна с некоторой концентрацией закиси железа. Если условия для развития вторичных реакций были благоприятны, мы имеем ванну с очень слабой концентрацией закиси железа и получаем *здоровую сталь*. Если условия для развития вторичных реакций были неблагоприятны, мы получаем *нераскисленную*, *горелую*, *нездоровую сталь*.

Итак, вся суть металлургии стали заключается в познании условий благоприятного развития вторичных реакций, *а цель всякого сталевара есть получение здоровой стали*.

В кислом конверторе мы имеем четыре вторичных реакции, термичность коих, отнесенная к 0°, дана выше.

Когда эти реакции идут в ванне при 1200—1600°, то термичность их должна бы быть поправлена. Теплоемкости первых частей уравнений

Анализ газов бессемерования

№ пробы	Время	Объемный анализ				Распределение 100 частей кислорода				
		O_2	CO_2	CO	N_2+H_2	O_2	CO_2	CO	в ванну	из ванны
Операция № 2523. Прямая из ненагретого чугуна										
Начало в 9 ч. 11 м.										
1	9 ч. 12 м. — 9 ч. $13^1/_2$ м.	8.8	3.2	—	88.0	37.6	13.7	—	48.7	—
2	9 ч. $14^1/_2$м. — 9 ч. $16^1/_4$ м.	2.0	9.0	3.6	85.4	8.8	39.6	7.9	43.7	—
3	9 ч. $16^1/_2$м. — 9ч. $17^3/_4$ м.	0.8	5.2	13.8	80.2	3.75	24.4	32.35	39.5	—
4	9 ч. $18^1/_2$ м.— 9 ч. 21 м.	—	2.2	22.0	75.8	—	10.91	54.5	34.59	—
5	9 ч. $21^3/_4$ м.— 9 ч. 24 м.	—	1.0	25.8	73.2	—	5.14	66.26	28.6	—
6	9 ч. $24^1/_4$ м.— 9 ч.$25^3/_4$ м.	0.4	1.8	28.0	69.8	—	9.70	75.4	14.9	—
7	9 ч· $26^1/_4$ м.— 9 ч. 28 м.	0.8	1.8	27.4	70.0	—	9.7	73.6	16.7	—
8	9 ч. $28^1/_2$ м. — 9 ч. $31^1/_2$м.	0.2	2.0	25.6	72.2	—	10.42	66.63	22.95	—
Конец 9 ч. $32^3/_4$ м.; всего $21^3/_4$ м.										
Операция № 2362 из перегретого чугуна										
Начало в 9 ч. 50 м.										
1	9 ч. 51 м. — 9 ч. 52 м.	0.2	4.8	—	95.0	—	19.0	—	81.0	—
2	9 ч. $52^1/_2$ м. — 9 ч. $53^1/_2$ м.	0.2	2.0	12.0	85.8	—	8.8	26.3	64.9	—
3	9 ч. 54 м. — 9 ч. 55 м.	—	1.2	18.8	80.0	—	5.6	44.2	50.2	—
4	9 ч. $55^1/_2$ м. — 9 ч. $56^1/_2$ м.	—	1.2	24.0	74.8	—	6.0	60.3	33.7	—
5	9 ч. $57^1/_2$ м. — 9 ч. $58^1/_2$ м.	—	1.0	25.0	74.0	—	5.1	63.5	31.4	—
6	9 ч. 59 м. — 10 ч.	0.2	1.2	25.8	72.8	—	6.2	66.6	27.2	—
7	10 ч. $^1/_2$ м. — 10 ч. $1^1/_2$ м.	—	1.2	19.0	79.8	—	5.7	44.8	49.5	—
8	10 ч. 2 м. — 10 ч. $3^1/_2$ м.	—	2.6	13.4	84.0	—	11.6	30.0	58.4	—
9	10 ч. 4 м. — 10 ч. $3^1/_2$ м.	0.2	1.4	17.6	80.8	—	6.5	41.0	52.5	—
Конец 10 ч. 6 м.; всего 16 м.										
Операция № 2591 из перегретого чугуна										
Начало 3 ч. $25^1/_2$ м.										
1	3 ч. 27 м. — 3 ч. 28 м.	0.6	6.2	9.8	83.4	2.7	28.0	22.1	47.2	—
2	3 ч. $28^1/_2$ м. — 3 ч. $29^1/_2$м.	—	4.2	17.8	78.0	—	20.3	42.9	36.8	—
3	3 ч. 30 м. — 3 ч. 31 м.	—	3.2	20.0	76.8	—	15.7	49.0	35.3	—
4	3 ч. $31^1/_2$ м. — 3 ч. $32^1/_2$м.	—	1.8	22.6	75.6	—	9.0	56.0	35.0	—
5	3ч. 33 м. — 3 ч.$33^3/_4$ м.	0.2	2.0	23.8	74.0	—	10.1	60.5	29.4	—
6	3 ч. 34 м. — 3 ч. 35 м.	—	1.0	26.0	73.0	—	5.0	67.0	28.0	—
7	3 ч. $35^1/_2$ м. — 3 ч. 36 м.	—	1.0	24.8	74.2	—	5.1	62.8	32.1	—
8	3 ч. 37 м. — 3 ч. $38^1/_4$ м.	—	1.0	22.0	77.0	—	4.9	53.7	41.4	—
9	3 ч. 39 м. — 3 ч. 43 м.	—	0.6	12.6	86.8	—	2.6	27.3	70.1	—
Конец 3 ч. $43^1/_2$ м.; всего 18 м.										

не равны теплоемкостям второй части уравнений, а потому в тепловой эффект их нужно бы внести некоторую поправку. Однако сделать этого мы не можем, ибо не знаем теплоемкостей входящих в уравнения веществ при этих температурах, а ввиду малой величины этой поправкой можно пренебречь.

в Нижне-Салдинском заводе Таблица 1

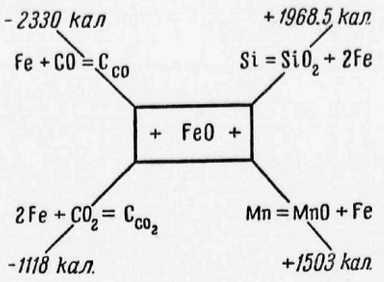
Предполагаемая температура ванны, °Ц	Горение углерода дает тепла ванне на кг O_2, кал	Процентное отношение $O_{CO} : O_{CO_2}$	Примечания
			Взято чугуна из домны № 1, 4 т состава:
1 200	1 766	100% CO_2	Si — 1.2%
1 200	1 574	16.7 : 83.3	Mn — 2.3%
1 200	1 111	57.0 : 43.0	C — 3.73%
1 300	704	83.0 : 17.0	Прибавлено концов в реторту не было
1 400	484	92.8 : 7.2	Операция достаточно горячая
1 400	532	88.6 : 11.4	В первой пробе не использовано кислорода 37.6%
1 500	426	88.3 : 11.7	
1 500	446	86.5 : 13.5	
			Чугун перегрет в печи Сименса
			Шихта:
			доменного чугуна — 2650 кг
			штыкового 500 »
			рельсовых концов 1000 »
			4150 кг
1 300	1 649	100% CO_2	
1 300	795	75 : 25	
1 400	527	89 : 11	
1 400	505	91 : 9	
1 400	485	92.7 : 7.3	Прибавлено в реторту рельсовых концов 450 кг
1 400	490	91.5 : 8.5	Состав чугуна:
1 500	422	88.7 : 11.3	Si — 1.4%
1 500	607	72.1 : 27.9	Mn — 2.4%
1 500	448	86.3 : 13.7	C — 3.46%
			Операция очень горячая
			Чугун перегрет в печи Сименса
			Шихта:
			чугуна доменного № 1 — 2500 кг
			белого штыкового 1150 »
			скрапа 500 »
			4150 кг
1 300	1 136	45 : 55	
1 300	874	68 : 32	
1 400	678	75.7 : 24.3	
1 400	561	86 : 14	
1 400	566	85.6 : 14.4	
1 400	482	93 : 7	
1 500	385	92 : 8	
1 500	385	92 : 8	
1 500	396	91 : 9	
			В реторту брошено рельсовых концов 470 кг
			Состав чугуна:
			Si — 1.17%
			Mn — 1.9%
			C — 3.7%
			Операция очень горячая

Сделав расчет на весовую единицу кислорода, мы получим такое схематическое изображение этих реакций (фиг. 1).

Схема эта указывает, что вторичные реакции распадаются на два типа.

1. Вторичные реакции с выделением тепла — экзотермичные. Это реакции правой стороны — горения кремния и марганца.

2. Вторичные реакции с поглощением тепла — эндотермичные. Это реакции левой стороны — горения углерода в окись углерода и в углекислоту.



Фиг. 1. Схема вторичных реакций

Мы определили свою задачу в познании теории процесса бессемерования, как необходимость найти благоприятные условия для развития вторичных реакций. Теперь мы видим, что задача наша сводится к определению условий развития в конверторе реакций экзо- и эндотермических, т. е. к задаче чисто физико-химического характера.

ПРИМЕНЕНИЕ ЗАКОНА ПОДВИЖНОГО ХИМИЧЕСКОГО РАВНОВЕСИЯ К БЕССЕМЕРОВАНИЮ

Прежде чем применять к производству стали законы равновесия, надо доказать, что в бессемеровской и мартеновской ваннах, а также в электрической печи и тигле мы имеем случай равновесного состояния.

Стальная ванна состоит из двух слоев: металла и шлака. Металл представляет раствор в железе углерода, кремния, марганца, фосфора, серы и других менее обыденных примесей, с одной стороны, и закиси железа — с другой. В ванне могут итти различные реакции окисления за счет кислорода закиси железа, однако вседневный опыт указывает нам, что реакции эти не всегда имеют место. Например, проба металла указывает на красноломкость металла вследствие присутствия неразложенной закиси железа. Иногда простого остуживания ванны в этом случае достаточно, чтобы сделать металл не красноломким, т. е. вызвать реакцию между имеющейся в ванне закисью железа и кремнием, марганцем и фосфором. Другим примером может служить прибавка раскислителей, которая имеет целью увеличить концентрацию примесей и дать термический толчок реакциям разложения закиси железа, находящейся в стали в равновесии с примесями.

Вседневный опыт учит нас, что качества стали как материала очень часто не характеризуются анализом стали. Сталь одного и того же химического состава может быть или великолепным материалом, или красноломкою, годною только для переплавки («дурная» сталь).

Все вышесказанное, а также нижеследующие примеры убеждают нас, что закись железа и прочие примеси в стальной ванне находятся в состоянии подвижного равновесия и к ней приложимы его законы.

Нам очень трудно судить, в каком состоянии находятся составные части шлака. С одной стороны, в застывших шлаках мы находим совершенно определенные минералы, которые нетрудно выкристаллизовать. Явления, происходящие в шлаке томасовской реторты, полученном при

недостатке извести, указывают нам на то, что в основных шлаках растворены определенные минеральные виды, так, например, получающийся с громадным выделением тепла $(CaO)_4P_2O_5$, образованием которого обусловливается магическое действие на пенистый шлак прибавляемой холодной извести. С другой стороны, явления твердения доменных шлаков, выпущенных в воду (гранулированных) и явления твердения пуццолана убеждают нас в том, что молекулярное строение жидких и выкристаллизовавшихся шлаков существенно различно, а потому мы не можем утверждать, что при изменении температурных условий нет перегруппировки окислов и оснований в другие возможные комбинации. За исключением $(CaO)_4P_2O_5$ все окислы, входящие в состав шлаков, образуются с небольшим тепловым эффектом, и потому явления перегруппировок оснований и окислов в шлаках, если и существуют, то без значительного влияния на ванну.

Зато существенна реакция кислорода воздуха печных газов на соли закиси железа и марганца шлака. Кислород воздуха разлагает эти соли закиси FeO и MnO в магнитные окиси, растворяющиеся в шлаке и действующие на примеси ванны. Между количествами окислов, растворенных в шлаке, и количеством примесей в ванне устанавливается в зависимости от температуры равновесие, которое, благодаря выделению газообразной окиси углерода, иногда бывает чрезвычайно легко наблюдать.

Приведу несколько примеров.

1. Имеем мартеновскую ванну, которая кипит в данный момент с определенной энергией, выделяя на 1 м² своей поверхности определенное количество пузырьков CO в секунду. Опустим в ванну холодную крюшку. Так как крюшка покрыта окалиной, то естественно, что ванна закипит, но, прокипев, она уничтожит всю FeO и успокоится. Теперь уже присутствие крюшки среди металлической ванны не вызывает энергичного кипения. Начнем двигать крюшкой, т. е. начнем мешать металл. Ванна ответит на это энергичным кипением. Почему? Потому что мы, смешивая металл, нарушим целый ряд местных равновесий: равновесие поверхности металла и соприкасающейся поверхности шлака, поверхностей металла выше и глубже лежащих слоев. Вынем крюшку, и через некоторое время кипение примет прежний характер.

2. Допустим, что перед выпуском из мартеновской ванны мы введением успокоителей добились прекращения кипения ванны. Выпустим ванну в ковш. В ковше ванна вновь начнет энергично кипеть. Причина ясна: мы устранили ряд местных равновесий между шлаком и поверхностью металла. Выпустив металл и шлак в ковш, мы получили смесь глубинного металла и поверхностного, которая оказалась не в равновесии со смесью шлака.

3. В горло бессемеровской реторты во время первого периода продувки я бросал куски руды; на каждый брошенный кусок руды реторта отвечала всплеском, т. е. обильным выделением CO, вследствие реакции обогащенного окислами железа шлака на углерод металла.

4. Кончив операцию, реторту кладут на спину. Кипение металла и шлака скоро успокаивается. В горло реторты вливают зеркальный чугун или бросают штыки чугуна. Из горла реторты вылетает сталь, выбрасываемая обильно выделяющейся окисью углерода. Обуглероженный металл оказывается не в равновесии со шлаком.

5. Когда кипение в реторте прекратится, металл и шлак выливают в ковш. В ковше кипение вновь возникает. Металл, бывший в горле реторты, более углеродистый, смешивается с металлом полости реторты и оказывается не в равновесии со шлаком полости реторты.

6. При раскислении металла в ковше бывают взрывы вследствие резкого нарушения температурных условий и состава ванны.

7. При рудном процессе в мартеновскую печь подкидывают руду. Каждая лопатка руды сопровождается усилением кипения.

Этих примеров достаточно, чтобы убедиться, что ванна и шлак находятся все время в полном равновесии. Равновесие это нами все время нарушается вследствие изменения состава ванны, изменения ее температурных условий, введения различных реактивов (кислород воздуха, руда, флюс, скрап, чугун), и постоянно само собой восстанавливается, следуя принципу Ле-Шателье. Таким образом, ванна все время живет, и для того, чтобы понимать принципы этой жизни, надо видеть эту жизнь, чтобы учитывать факторы, благоприятствующие получению здорового металла, и факторы, способствующие насыщению металла окислами железа, препятствующие переходу вредных примесей в шлак.

Только рассматривая металлическую ванну как равновесную систему, сталевар может управлять реакциями, в ней совершающимися, и может добиться нужных результатов. Понимание законов подвижного равновесия дает такому сталевару уменье поставить ванну в такие условия, что законы равновесия будут работать ему на пользу.

Изучая бессемерование с точки зрения физической химии, мы прежде всего устанавливаем факт непрерывного изменения состава ванны.

Введенный в реторту чугун с содержанием углерода около 4% постепенно переходит, под влиянием дутья, в мягкое железо со следами углерода. Мягкое железо резко отличается от чугуна своей тугоплавкостью. Температура отвердевания чугуна по диаграмме сплавов Fe + C около 1130°, а чистого железа 1530°.

Из сказанного очевидно, что фришевание, т. е. обезуглероживание чугуна без повышения его температуры, ведет к отвердеванию его и носит характер остуживания ванны.

Возьмем для ясности диаграмму сплавов Fe + C (фиг. 2) и на ней точку x немного выше линии начала застывания раствора углерода в железе. При окислении ванны дутьем количество углерода в растворе начнет уменьшаться, и хотя температура ванны остается прежней, но точка x начнет двигаться влево и приближаться к линии начала затвердевания (к точке y) так же, как будто бы ванна нами остуживалась, а последнее должно вызвать в ванне реакции с выделением тепла.

Нарисуем под диаграммой сплавов Fe + C диаграмму равновесия FeO углерода в железо-углеродистых сплавах. По Ледебуру, максимальное содержание FeO в мягком железе равно 0.25%. В чугуне сотые доли процента. В общем, кривая равновесия FeO + Fe_nC будет иметь характер кривой SU.

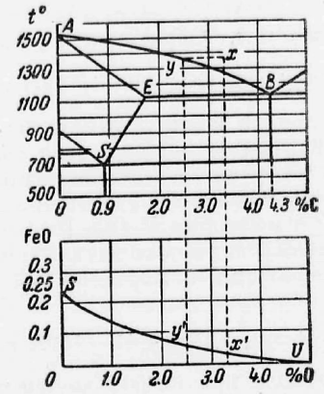
Наша ванна, отмеченная на диаграмме сплавов Fe + C точкой x, займет на этой кривой точку x'. При передвижении точки x в точку y точка x' передвинется в y', и прежнее количество закиси железа окажется недостаточным для поддержания равновесия в ванне. Следствием этого будет развитие реакций энергичного окисления железа:

$$Fe + O = FeO + 66\,713 \text{ кал.}$$

Повышение содержания в ванне FeO вызывает вторичные реакции окисления кремния и марганца с выделением тепла, о которых речь впереди.

Таким образом, в бессемеровании изменение состава ванны в смысле ее обезуглероживания, приближая ванну к замерзанию, действительно вызовет в ней реакции с выделением тепла. А так как в процессах бессемерования и мартенования процесс фришевания идет непрерывно, то мы можем установить совершенно точно термин «застуженной», или «холодной», ванны и утверждать, что в такой ванне идут реакции с выделением тепла.

При раскислении и обуглероживании ванны мы имеем обратное положение: к ванне мягкого железа приливается ковш чугуна или зеркального чугуна. Ванна из состояния y (фиг. 2) переходит в состояние x, т. е.



Фиг. 2. Диаграмма сплавов Fe + C и растворимости FeO в FeC

удаляется от линии AB — начала замерзания — и перегревается. Закись железа, в ней растворенная, согласно точке y, пересыщает ванну и дает реакцию с поглощением тепла

$$FeO + C = CO + Fe - 37\,282 \text{ кал.}$$

Теперь перейдем к систематическому рассмотрению бессемеровской ванны. Мы уже видели, что во время операции дутье сжигает железо в закись; закись железа растворяется в ванне. Этот раствор закиси железа в железе, с одной стороны, разлагается кремнием, марганцем и углеродом, с другой стороны, все время подновляется дутьем. Если реакции между закисью железа и восстановителями идут энергично, то раствор беден закисью железа и концентрация его очень мала.

Если реакции передачи кислорода примесям железа идут туго, то концентрация закиси железа в железе возрастает до предела, когда скорость раскисления ванны будет равна скорости ее окисления.

Отсюда очевидно, что если мы имеем три элемента, способных раскислить образующуюся закись железа, и они будут гореть за счет кислорода закиси с различной интенсивностью, то элемент, для горения которого условия данного момента особенно благоприятны, установит минимальную концентрацию закиси железа в железе, недостаточную для быстрого окисления других элементов. Таким образом, создается известного рода последовательность в горении примесей чугуна, причем каждая из примесей горит тогда, когда условия момента для этого особенно благоприятны.

Мы уже видели, что реакции раскисления закиси железа делятся на две категории: окисление кремния и марганца кислородом закиси железа идет с выделением тепла и окисление углерода в окись углерода и углекислоту—

с поглощением тепла. Отсюда следует, что условия для этих реакций существенно отличны. Реакции правой стороны должны охотно итти в остывающей или холодной ванне, реакции другой стороны, напротив того, охотно идут в нагревающейся или горячей ванне.

Так как определение количества FeO в железе ванны экспериментально крайне трудно, то едва ли мы сможем когда-нибудь решать вопросы о порядке выгорания примесей на основании математических выкладок, а в настоящее время мы можем подходить к этому вопросу только косвенным путем.

Горение кремния. Обратимся к реакции

$$2FeO + Si \lesssim SiO_2^{\gamma} + 2Fe + 62\,994 \text{ кал.}$$

После разогрева холодной вначале ванны реакция ванны принимает бурный характер и в реторте начинаются обильные всплески. Это явление убеждает нас, что реакция окисления кремния при температуре слабо нагретого чугуна идет вяло, и благодаря этому создается значительная концентрация FeO в металле и FeO и Fe_2O_3 в шлаке.

С другой стороны, наблюдения над мартеновской плавкой убеждают нас, что при высоких температурах в мартеновской печи можно добиться обратной реакции:

$$2Fe + SiO_2 \rightarrow 2FeO + Si - 62\,994 \text{ кал,}$$

т. е. *восстановления кремния*, причем получается пузыристая, плохо раскисленная сталь с большим содержанием закиси железа.[1] Температуру стали при этом можно определить около 1600°, а, может быть, 1700°. Отсюда следует, что реакция

$$2FeO + Si \lesssim SiO_2 + 2Fe,$$

начинаясь в направлении верхней стрелки в чугуне при 1100—1200°, при 1600° и выше в мягком металле обращается в направлении нижней стрелки, т. е. кремний при высокой температуре теряет свою способность энергично раскислять ванну. Максимум раскислительной способности кремния в чугуне должен быть около 1300°, и этот максимум будет соответствовать минимуму концентрации FeO + Si.

При более высокой температуре кремний горит только при повышенной концентрации закиси железа.

Итак, выводы из рассмотрения условий вторичной реакции

$$2FeO + Si \rightarrow 2Fe + SiO_2 + 62\,994 \text{ кал.}$$

таковы:

Эта реакция в богатой углеродом ванне идет хорошо при температуре 1200°, *при температуре около* 1300° *она достигает максимума своей эффективности, которая затем падает, и в очень горячей углеродистой ванне эта реакция идет в обратном направлении.*

[1] Можно предположить, что кремний восстанавливается в мартеновской печи углеродом по реакции $SiO_2 + 2C = Si + 2CO - 137\,50$ кал, однако тот факт, что металл при значительном восстановлении Si (до 0.5%) делается плохо раскисленным, т. е. с большим содержанием FeO, и вновь пузыристым, убеждает нас в том, что такое мнение ошибочно. Такая же сильно кремнистая и плохо раскисленная сталь получается очень нередко в конверторе Бессемера при слишком горячем ходе операции (см. ниже). Но особенно часто эта реакция имеет место в кислой электрической печи, где всегда грозит опасность слишком легкого перегрева ванны и получения нездоровой стали, как его следствия.

Отсюда ясно, что в бессемеровании чугуна, где мы имеем сразу три окисляющихся элемента, борющихся за кислород, эта реакция может итти только при температурах не ниже 1200° и не выше, скажем, 1350°. При более высоких температурах эта реакция идет уже вяло и должна уступить свое место другим реакциям.

Короче говоря, перефразируя принцип Ле-Шателье, *реакция горения кремния за счет кислорода закиси железа, идущая со значительным выделением тепла, идет в ванне холодной. В ванне перегретой эта экзотермическая реакция замедляется и может пойти в обратном направлении.*

Горение марганца. Реакция горения марганца за счет закиси железа

$$FeO + Mn = MnO + Fe + 24\,047 \text{ кал}$$

менее экзотермична, чем реакция горения кремния, дающего на единицу кислорода +1968.5 кал сравнительно с +1503 кал для марганца.

Поэтому эта реакция носит подчиненный характер во время первого периода, обеспечивая шлакование кремнезема. Во время второго периода, когда ванна перегреется, главенствующую роль получает реакция горения углерода (см. ниже). Таким образом, обыкновенно некоторое количество марганца остается к третьему периоду, когда заключительное горение марганца играет решающую роль в процессе (см. ниже).

Горение углерода. Обыкновенно принимается, что при продувке углерод горит в окись углерода. Однако, анализы газов указывают с очевидностью, что не только в начале продувки, но и в конце продувки углерод частично горит в угольную кислоту.

Объяснить появление CO_2 в первых пробах газов реторты весьма просто. Можно думать, что углерод горит в CO, но затем в полости реторты встречает неутилизированный кислород воздуха и сгорает тогда в CO_2.

Однако так невозможно объяснить появление CO_2 в газах конца операции. Предполагать, что струйка воздуха может пройти через ванну при 1500°, не окислив железа, мы не имеем никаких оснований. Напротив, можно утверждать, что кислород воздуха при этой температуре несомненно полностью даст FeO. Но FeO окисляет углерод иногда в CO, иногда же в смесь CO и CO_2. О характере этого горения можно составить себе понятие из анализов газов реторты А. Тамма, указывающих, что в CO_2 горит до 25% всего поступающего в реторту в конце операции дутья.

Реакция горения углерода во время 3-го периода в углекислоту заставляет нас поглубже вдуматься в условия горения углерода.

Из табл. 2 мы заключаем, что за покрытием расхода теплоты на нагревание продуктов горения, горение углерода сообщает ванне различное количество тепла, в зависимости от температуры ванны:

при горении в CO_2 от + 1766 кал при 1200° до +1296 кал при 1600°;

при горении в CO от + 616.5 кал при 1200° до + 186 кал при 1500°

на килограмм кислорода.

Там же мы видели, что при 1770° горение углерода в CO сходит к нулю. Горение углерода в смесь ($CO + CO_2$) может греть ванну в той или иной степени, в зависимости от процентного отношения ($O_{CO} : O_{CO_2}$) и температуры ванны.

В приведенных в табл. 5 анализах четырех шведских операций и трех операций Нижне-Салдинского завода (табл. 2) помещены результаты подсчетов температуры горения углерода в моменты взятия проб, и получаемая при этом картина горения углерода в общем довольно постоянна. В первый период углерод горит исключительно в углекислоту, и так как

Таблица 2

Количество тепла, получаемого ванной от окисления примесей на 1 кг кислорода

(в кал)

Реакции	1200°	1300°	1400°	1500°	1600°
$Si + O_2 + 3.762\ N_2$	4800	4723	4605	4486	4364
$Mn + O + 1.881\ N_2 + SiO_2$	4858	4740	4623	4504	4381
$Fe + O + 1.881\ N_2 + SiO_2$	3501	3384	3266	3147	3025
$Fe + O + 1.881\ N_2$	2872	2754	2637	2518	2396
$C + O_2 + 3.762\ N_2$	1766	1649	1533	1415	1296
$C + O + 1.881\ N_2$	617	510	403	295	186

Таблица 3

Количество тепла, получаемого ванной от окисления примесей на 1 кг примесей

(в кал)

Реакции	1200°	1300°	1400°	1500°	1600°
$Si + O_2 + 3.762\ N_2$	5531	5398	5263	5127	4987
$Mn + O + 1.881\ N_2 + SiO_2$	1413	1379	1345	1310	1275
$Fe + O + 1.881\ N_2 + SiO_2$	1000	967	933	899	864
$Fe + O + 1.881\ N_2$	821	787	753	719	684
$C + O_2 + 3.762\ N_2$	4708	4398	4087	3773	3457
$C + O + 1.881\ N_2$	822	680	537	393	248

Таблица 4

Повышение температуры ванны при сжигании 1% примесей

(в °Ц)

Реакции	1200°	1300°	1400°	1500°	1600°
$Si + O_2 + 3.762\ N_2$	178	172	166	161	155
$Mn + O + 1.881\ N_2 + SiO_2$	45	44	42	41	40
$Fe + O + 1.881\ N_2 + SiO_2$	32	31	29	28	27
$Fe + O + 1.881\ N_2$	26	25	24	23	21
$C + O_2 + 3.762\ N_2$	151	140	129	118	108
$C + O + 1.881\ N_2$	25	21.5	17	12.5	7.5

температура ванны 1200°,[1] то горение углерода дает + 1766 кал на 1 кг O_2. Затем, по мере возвышения температуры ванны, развивается горение углерода в окись углерода, и термичность реакций горения углерода рез-

[1] Кроме двух последних операций Нижне-Салдинского завода, где температура около 1300°. В операции № 2591 первого периода не было, а прямо начался второй период.

ко падает. Однако падение это различно для операций заводов Ленгсхиттан, Никроппа и Бэнгбро, с одной стороны, и Вестанфорс и трех нижне-салдинских операций, — с другой стороны. В первых трех операциях углекислоты в продуктах горения так много, что конец плавки проходит при значительном эффекте горения углерода (+593; +567; +623 кал). В плавках Вестанфорс и нижне-салдинских под конец плавки углерод горит с меньшим выделением тепла, так как газы очень богаты CO и бедны CO_2.

Если мы обратим внимание на состав чугуна этих операций, то увидим, что первые три плавки идут при *химически холодных чугунах*, бедных Si и Mn. Чугун последних четырех плавок гораздо богаче примесями, а две последние плавки, кроме того, сделаны из перегретого чугуна. Это плавки заведомо горячие, тогда как первые заведомо холодные.

Если обратить внимание на состав металла во время продувки, то мы увидим, что в первых трех плавках кремний и марганец исчезают при содержании углерода около 4%, т. е. во время второго периода ведется бессемерование чистого углеродистого железа.

В четырех плавках второй категории горение Si и Mn растягивается на весь период продувки, и под конец продувки происходит энергичное догорание марганца (см. табл. 5 и 1).

Если обратить внимание на колонку таблиц, озаглавленную: «распределение 100 ч. кислорода», то мы увидим существенную разницу этих двух категорий операций. В первой группе идет под конец операции от 5 до 13% всего кислорода в ванну; в ванне нет ничего, кроме Fe.

Во второй группе операции в ванну идет до 70% дутья, причем в наиболее холодной прямой плавке № 2523 Нижне-Салдинского завода в ванну в последней пробе все же идет 22.9% всего кислорода дутья. Под конец операции в ванне остается энергично выгорающий марганец.

Все это вместе взятое может быть резюмировано так: в тех плавках, когда в середине второго периода в ванне остается чистое углеродистое железо, углерод горит в смесь ($CO + CO_2$), настолько богатую угольной кислотой, что горение углерода греет ванну; в тех плавках, когда к концу продувки ванны остается Mn, горение идет преимущественно в окись углерода и сопровождается небольшим тепловым эффектом.

Как же объяснить такое странное поведение углерода? Закон подвижного равновесия дает нам для этого руководящее начало.

Во время второго периода из чугуна выгорает углерод. Это выгорание углерода превращает чугун, плавящийся при 1100—1200°, в железо, плавящееся при 1505°. Поэтому во время второго периода нам нужно иметь разогретый металл, иначе обезуглероживание ванны без соответственного ее нагрева привело бы ванну к застыванию.

Начало второго периода есть момент, когда мы получаем настолько сильно перегретую ванну, что горение Si как реакция экзотермическая останавливается и уступает место реакции менее экзотермической, т. е. горению углерода. Углерод начинает гореть в окись углерода, почти не нагревая ванны, и самым фактом своего горения приближает ванну к моменту ее застывания, т. е. по мере своего выгорания создает вновь условия, благоприятные для начала горения примесей, выделяющих тепло. Это и будет третий период продувки. Таких элементов три: железо, марганец и кремний. Если в ванне остались еще кремний и марганец, они начинают в третий период энергично гореть, поддерживают высокую температуру ванны, и горение углерода в окись идет прежним темпом. Но при химически холодных чугунах кремния и марганца нет; тогда в третий период горит железо; своим горением оно дает ванне нужное количество тепла,

Анализ газа бессемерования шведских

Название завода	Операция	№ пробы	Весовой анализ					Распределение кисло-		
			O_2	CO_2	CO	H_2	N_2	O_2	CO_2	CO
Ленгсхиттан	EA	1	8.68	3.36	—	—	87.96	32.79	9.22	—
	FE	1	0.66	12.62	4.97	0.04	81.71	2.65	36.85	11.40
	EA	2	—	12.35	23.95	0.04	63.66	—	46.12	70.31
	FA	1	—	10.15	24.58	0.03	65.24	—	37.14	70.72
	FE	2	—	6.91	25.01	0.04	67.04	—	24.55	72.52
	FA	2	0.68	5.84	25.10	0.02	67.36	—	20.80	72.98
	FE	3	0.22	6.46	25.07	0.04	68.21	—	22.55	68.76
	FA	3	0.22	7.20	25,26	0.04	67.28	—	25.49	70.18
Никроппа	A	1	16.10	3.18	—	—	80.92	66.12	9.49	—
	B	1	—	6.62	27.65	0.06	65.47	—	23.84	78.85
	A	2	—	7.93	16.31	0.02	75.74	—	25.14	40.61
	A	3	—	7.07	25.52	0.05	67.36	—	24.87	70.54
	B	2	—	4.51	27.92	0.07	67.50	—	15.72	76.47
	A	4	—	6.15	24.46	0.03	69.36	—	21.17	66.18
Бэнгбро		1	9.43	3.96	—	—	86.61	36.19	11.05	—
		2	1.43	10.09	—	—	88.48	5.37	27.57	—
		3	—	10.47	22.40	0.05	67.08	—	36.98	62.20
		4	—	7.51	26.63	0.04	65.82	—	27.14	75.64
		5	—	7.51	23.04	0.05	69.40	—	25.66	61.89
Вестанфорс		1	0.65	11.68	—	—	87.67	2.46	32.18	—
		2	—	7.37	13.78	0.06	78.79	—	22.15	32.53
		3	0.22	6.80	19.76	0.08	73.14	—	21.85	49.85
		4	—	4.97	25.20	0.07	69.54	—	16.81	67.04
		5	—	0.16	26.03	0.06	73 75	—	0.53	65.59
		6	—	1.10	25.48	0.08	73.74	—	3.50	63.78
		7	—	3.31	22.86	0.13	73.70	—	10.38	56.24

поднимает ее температуру, но вместе с тем увеличивает концентрацию FeO в ванне. А это увеличение концентрации FeO сказывается на горении углерода, и большее количество его горит тогда в CO_2, а меньшее — в CO. Таким путем и в этом случае в ванне сама собой развивается реакция, питающая ванну теплом, ибо при температуре в 1500° горение углерода в углекислоту дает +1415 кал на единицу кислорода.

В ванне с остатками Si и Mn в конце плавки горят эти последние;

Таблица 5

заводов (исследование А. Тамма)

100 частей рода: В ванну	100 частей рода: Из ванны	Предполагаемая температура ванны	Горение углерода дает ванне тепла на 1 кг O_2, кал	Процентное отношение CO : CO_2	Примечание
57.99	—	1200°Ц	1 766	100% CO_2	Чугуна — 2 600 кг
49.10	—	1200°	1 490	24 : 76	FeMn — 15 кг
—	16.43	1300°	—	—	Стали — 89.9%
—	7.86	1400°	—	—	Угара — 10.1%
2.93	—	1400°	685	75 : 25	Чугун: C — 4.32%
6.22	—	1400°	654	77.8 : 22.2	Si — 1.1%
8.69	—	1500°	575	75 : 25	Mn — 0.63%
4.33	—	1500°	593	73.4 : 26.6	Сталь: C — 0.25%
24.39	—	1200°	1 766	100% CO_2	Чугуна — 2 933 кг
—	2.69	1200°	885	76.7 : 23.3	FeMn — не добавлено
34.25	—	1300°	943	62 : 38	Стали — 88.22%
4.9	—	1400°	697	74 : 26	Угара — 11.78%
7.81	—	1400°	595	83 : 17	Чугун: C — 4.36%
12.65	—	1500°	567	75.7 : 24.3	Si — 0.98%
					Mn — 1.73%
					Сталь: C — 0.07%
52.76	—	1200°	1 766	100% CO_2	Чугуна —3 018 кг
67.06	—	1200°	1 766	100% CO_2	FeMn — не добавлено
0.82	—	1300°	935	62.7 : 37.3	Стали — 90.63%
—	2.78	1400°	701	73.6 : 26.4	Угара — 9.37%
12.45	—	1500°	623	70.7 : 29.3	Чугун: C — 4.69%
					Si — 0.97 %
					Mn — 1.69%
					Сталь: C — 0.10%
65.36	—	1200°	1 766	100% CO_2	Чугуна — 2 635 кг
45.32	—	1200°	1 082	59.5 : 40.5	FeMn — не добавлено
28.30	—	1300°	857	69.5 : 30.5	Стали — 87. 1%
16.15	—	1400°	629	80 : 20	Угара — 12.9%
33.88	—	1400°	412	99.2 : 0.8	Чугун: C — 4.18%
32.72	—	1500°	351	95 : 5	Si — 1.92%
33.38	—	1500°	469	84.5 : 15.5	Mn — 4.83%
					Сталь: C — 0.22%
					Mn — 0.29%

она не насыщается FeO, и потому нет причин для увеличения горения углерода в CO_2.

Итак, оказывается, что когда ванна идет к застыванию и нуждается в теплоте, углерод горит в углекислоту. Когда ванна в теплоте не нуждается, горение идет в окись углерода. В первом случае углерод греет ванну, во втором случае он мало греет ванну, греет же ванну горение марганца и кремния.

Дальнейший вывод: в первом случае металл будет очень богат закисью железа, во втором случае он будет беден закисью железа. В первом случае его придется усиленно раскислять марганцем, во втором случае он будет хорош и без раскисления. И действительно, марганец, введенный в доменный чугун, обеспечивает прекрасные качества стали, которая получается здоровой прямо после продувки и никакого раскисления не требует.

Из сказанного можно опять, применительно к бессемерованию, перефразировать закон подвижного равновесия так: *если ванна холодная и нуждается в тепле, углерод горит в смесь окиси углерода и углекислоты, настолько богатую углекислотой, что ванна нагревается. Если ванна перегрета и в теплоте не нуждается, углерод горит преимущественно в окись углерода.*

Третий период продувки, т. е. повторное горение Si, Mn и Fe, есть логическое последствие повышения температуры плавления стали. Ванна нуждается в теплоте, и потому горят элементы, дающие тепло.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основная первичная реакция бессемерования есть горение железа в закись. Затем следуют вторичные реакции закиси железа на примеси ванны различной термичности. Наибольшею положительной термичностью обладает реакция горения кремния, затем марганца. Что касается горения углерода, то термичность этой реакции зависит от температуры ванны и состава смеси $CO + CO_2$, в которую горит углерод. В зависимости от этих двух факторов, углерод может или нагревать ванну или горение его может сходить почти к нулю.

Из трех вторичных реакций получает наибольшее развитие та, для которой данный момент продувки особенно благоприятен. Когда в реторту вливается неперегретый чугун, то идет реакция горения кремния, как элемента, обладающего наибольшею термичностью. Несколько слабее идет окисление марганца и еще слабее — окисление углерода в углекислоту по реакции, нагревающей ванну.

Если в реторту влить сильно перегретый чугун, как это делается в Нижней Салде, и, следовательно, ванна не нуждается в тепле, то с первого же момента задувки (операция № 2591) углерод горит в смесь $CO_2 + CO$, чем понижается термичность реакции горения углерода, а реакция горения кремния и марганца идет менее интенсивно.[1]

Горение Si, Mn и C в CO_2 нагревает ванну в первый период, но повышение температуры тормозит дальнейшее развитие этих экзотермических реакций, и реакции эти сменяются преимущественным горением углерода в CO во втором периоде бессемерования.

Горение углерода во втором периоде меняет природу ванны, которая делается более трудноплавкой, а потому по мере обезуглероживания вновь наступает момент, благоприятный для развития экзотермических реакций. Горят во втором периоде остатки Si и, главное, марганец. Если нет ни того, ни другого, то горит железо, обогащая ванну закисью железа. Такое обогащение железа ванны закисью в третьем периоде сказывается на термичности и составе продуктов горения углерода. В продуктах горения углерода увеличивается содержание CO_2. Углерод разогревает ванну, но бессемеровский металл получается богатым закисью железа. При избытке марганца в бессемеруемом чугуне обеспечивается его присутствие в конце второго периода; его горение дает ванне тепло в третьем периоде и устраняет необходимость горения железа. Ванна получается с минимальным содержанием закиси железа; получается *здоровый* металл без прибавки раскислителей.

[1] В плавке № 2591 (см. табл. 1) в ванну идет в первый момент только 47.2% дутья; гораздо меньше, чем в № 2362 или завода Вестанфорс (табл. 5).

Вот в кратких словах вся теория бессемерования; вся она построена на перефразированном принципе Ле-Шателье — Вант-Гоффа: *ванна холодная нуждается в тепле — идут реакции, выделяющие тепло; ванна перегрета — идут реакции с наименьшим тепловым эффектом.* Это положение представляет суть всей теории получения стали и будет повторяться нами бессчетное число раз при рассмотрении всех реакций, совершающихся в стальной ванне.

ЭВОЛЮЦИЯ ВО ВЗГЛЯДАХ НА СУЩНОСТЬ МАРТЕНОВСКОЙ ПЛАВКИ

При самом возникновении мартеновской печи на плавку в ней смотрели, как на род тигельной плавки. О фришевании, т. е. очищении чугуна от примесей в мартеновской печи, никто не думал. Как сам П. Мартен, так и его современники на мартеновскую печь смотрели как на прибор, предназначенный только для сплавления в нем чугуна и железа с целью получения более или менее уголеродистой стали.

Работа в мартеновской печи первоначально производилась следующим образом. В приготовленную для операции печь загружали известное количество чугуна; по расплавлении этой насадки в печь прибавляли подогретый в другой печи пакет за пакетом железный скрап и давали ванне кипеть до тех пор, пока не получали металл желаемого состава. Нужно заметить, что на мягкий металл в мартеновской печи работали очень редко, главным же образом получали рельсовый металл и инструментальную сталь.

Высказанный выше взгляд на сущность мартеновской плавки имеет под собою некоторое основание. Действительно, очищение переплавляемого металла в кислой мартеновской печи идет очень слабо. Оно имеет место преимущественно во время расплавления загруженных материалов; во время же кипения окисление примесей происходит сравнительно в незначительном размере, и первые мартеновцы, видевшие назначение мартеновской печи в расплавлении и смешивании чугуна и скрапа, были отчасти правы.

С самого же начала введения мартеновского процесса делались попытки работать в печи на жидком доменном чугуне с целью экономии топлива. Но эти попытки потерпели неудачу, главным образом потому, что хотя введение в печь жидкого чугуна сокращало период расплавления скрапа, но увеличение содержания примесей в ванне значительно затягивало второй период плавки — период кипения, и вся экономия топлива, полученная от применения жидкого чугуна, целиком покрывалась излишним расходом его во время удлиненного периода кипения ванны.

Одновременно с развитием кислого скрап-процесса в Англии производились попытки фришевать примеси чугуна кислородом руды, иначе говоря, вести в печи с кислой футеровкой рудный процесс (ore-process). Но он сразу не получил широкого распространения, потому что в кислой печи фришевание рудой находится в неблагоприятных условиях. Как известно, шлак кислой печи не может быть основнее бисиликата; прибавление же окислов железа делало шлак более основным, благодаря чему он начинал разъедать откосы ванны; получалось большое количество шлака, которое затрудняло нагрев ванны. Для того чтобы избежать растворения руды в шлаке, ее обыкновенно старались употреблять в крупных кус-

ках, чтобы руда не оставалась в шлаке, а погружалась в чугун и производила его фришевание непосредственным с ним соприкосновением.

Нигде, кроме Англии, рудный процесс не получил в то время развития, потому что он мало отвечал условиям производства того времени. Все промышленные города были завалены старым железом. Сварочные печи не могли перерабатывать крупной железной ветхости, и, кроме того, передел в них был сравнительно дорог. По этой причине цена на железную ветхость была очень низка, спрос же на литой металл все возрастал. Передел чугуна в мартеновских печах не мог получить развития, так как приходилось конкурировать с бессемеровским способом передела, который в это время уже имел под собой твердую почву. Переделывать скрап в конверторе Бессемера тогда еще не умели.

Естественно, что мартеновское производство занялось переделом железного скрапа, так как только на этом пути оно не встречало соперников и могло свободно развиваться. Иногда процентное содержание скрапа в шихте благодаря его дешевизне достигало чрезмерной величины. Так, например, на Путиловском заводе одно время установился способ работы даже с 85—90% железного скрапа и 15—10% чугуна. На некоторых заводах пошли еще дальше: плавки делали на одном скрапе, прослаивая загружаемую в печь ветхость антрацитом или коксом.

При таком способе работы никогда не получали металла хорошего качества; он всегда содержал большое количество закиси железа, т. е. был плохо раскислен. На основании опыта первые мартеновские мастера скоро убедились, что, работая почти на одном скрапе, они нарушили основной принцип получения хорошего металла; для этого необходимо, чтобы обезуглероживание ванны следовало шаг за шагом за повышением температуры ее, так, чтобы каждому процентному содержанию углерода в ванне отвечала своя определенная температура. При несоблюдении этого условия металл получается стылым, с большим содержанием окислов железа. Шихта, составленная из одного скрапа или из скрапа с небольшим количеством чугуна, т. е. с ничтожным содержанием C, Si и Mn, при продолжительном нагревании окислительными газами мартеновской печи дает полную свободу образованию и растворению FeO в ванне, в результате такой плавки получается металл, чрезмерно богатый окислами железа. Сделать этот металл хоть сколько-нибудь пригодным для производства можно только прибавлением значительного количества зеркального чугуна.

Повседневная практика мартеновских печей показывает, что застуженная во время фришевания операция всегда дает плохо раскисленный, пузыристый металл весьма невысоких качеств. Вот почему способ работы на одном скрапе почти совершенно оставлен и имеет только историческое значение.

Самый лучший металл, который давала в 70—80-х годах мартеновская печь, получался из шихты, составленной из чугуна и пудлинговых криц. Способ этот еще недавно практиковался на Обуховском заводе для выделки очень чистой кислой стали, причем шихта составлялась из 30% чугуна и 70% криц. Крица всегда содержит достаточное количество железистого шлака, кислород которого и сжигает часть углерода, имеющегося в ванне, отчего фришевание ванны идет очень успешно. Но такой способ работы теперь уже редок, так как для заводов, работающих на рынок, он является безмерно дорогим.

Итак, история мартеновской плавки выдвинула нам одно из главных условий приготовления мартеновского металла. Сталевары убедились, что главным и необходимым условием получения хорошего металла в мартеновской печи является достаточно продолжительное кипение ванны, т. е. надо нагревать ванну и в то же время предоставить возможность воздействия образующейся за счет кислорода пламени FeO на углерод ванны. Нагревание ванны вне фришевания оказалось невозможным — получался металл, содержащий слишком много FeO. В этом главное отличие мартеновской плавки от электроплавки, где за отсутствием содержащих кислород газов в печи металл под толстым слоем шлаков может нагреваться вне фришевания.

Опытом найдено, что период кипения, т. е. время с момента полного расплавления шихты до выпуска, должен длиться по крайней мере 1½ часа. Является вопрос: сколько надо иметь в ванне углерода и других примесей, чтобы фришевание их кислородом пламени продолжалось в течение нужного для нагревания ванны времени? Дать точный ответ на этот вопрос в высшей степени трудно: эти величины субъективны не только для каждой печи, но субъективны даже для данного момента работы печи. Когда печь работает горячо, период кипения можно сократить и уменьшить количество примесей. Когда же печь работает холодно, то период плавления затягивается и усиливается фришевание во время расплавления, нагревание металла по расплавлении тоже затягивается; фришевание некоторых примесей, например углерода, идет вяло, и в общем, чем холоднее идет печь, тем более углерода, Si и Mn требует она для возможности получения удовлетворительного металла. Вот почему при рассмотрении мартеновской плавки в различных заводах мы находим такое разногласие в результатах и в перерабатываемых шихтах.

Итак, металл в мартеновской печи, так же как и в бессемеровской реторте, во-первых, подвергается фришеванию, и, во-вторых,— нагреванию. Разница с бессемерованием только та, что там все тепло, нужное для нагрева ванны в реторте, дается ванне горением примесей; в мартеновской же печи теплота, нужная для нагрева ванны, получается ею не только от горения составных частей ванны, но главным образом извне.

Если конструкция печи хороша, а генераторный газ хорошего состава, то мартеновская печь очень мало нуждается в теплоте, даваемой окислением Si, Mn и других элементов. Напротив того, если печь работает плохо, то реакции фришевания значительно облегчают работу печи.

Вот почему в некоторых заводах требуют мартеновский чугун по возможности с меньшим содержанием Si и Mn, повышающих только без пользы угар. Другие же заводы употребляют чугун сильно кремнистый и марганцовистый — непременно серый. Кроме того, иногда при горячо работающих печах заводы ведут горение примесей не за счет кислорода воздуха, а за счет кислорода руды, и тогда очищение ванны идет двумя путями: во-первых, путем окисления кислородом пламени и, во-вторых, путем взаимодействия с окислами руды.

Таким образом, мы постепенно подошли к выяснению следующих основных принципов мартеновской плавки.

1. Рассматривать мартеновскую печь как прибор для сплавления железного скрапа с целью получения жидкого металла нельзя.

2. Главный источник теплоты — это горение генераторного газа. Для плохих печей теплота фришевания примесей есть хороший подсобник плавки. Хорошие печи в помощи теплоты реакций фришевания не нуждаются. Отсюда требования со стороны нормального мартеновского производства на чугуны белые, с небольшим содержанием Si и Mn.

3. Наконец, в горячо идущих печах явилась возможность почти пренебречь теплотой реакций фришевания и вести его за счет кислорода руды, причем, чем горячее работает печь, тем меньшую роль играет окисление примесей кислородом воздуха. Так появился рудный процесс.

Таким образом, идея мартенования исторически дважды видоизменилась коренным образом. Начальная идея сплавления (подобно тигельному производству) сменилась идеей сплавления и фришевания газами (скрап-процесс), а эта последняя сменилась идеей фришевания кислородом руды и отчасти кислородом газов, т. е. в конце концов мартеновское производство из тигельного обратилось в пудлинговое, но не в тестообразном, а в огненно-жидком состоянии, на основном поду.

ОСНОВНЫЕ ЗАДАЧИ МАРТЕНОВСКОГО ПРОЦЕССА

Мартеновская печь должна во время плавки исполнить две работы:
1) окислить примеси чугуна,
2) расплавить завалку и поднять температуру ванны от 1200 до 1600°.

Те же две работы исполняются и конвертором Бессемера, Томаса или конвертором бокового дутья; но разница между печью Мартена и конвертором громадная. Окисление примесей в конверторе идет крайне напряженно, всего в несколько минут, почему в единицу времени выделяется громадное количество тепла при ничтожном лучеиспускании конвертора. Поэтому температура ванны быстро поднимается до 1600°. Условия работы мартеновской печи совсем иные: окислительная способность печи Мартена ничтожна, а лучеиспускание громадно. Поэтому о *самонагревании* ванны в печи Мартена можно говорить только в исключительных случаях. Правильнее смотреть на дело так, что вся работа нагревания ванны и возмещения потерь на лучеиспускание должна быть исполнена печью. *Печь должна хорошо греть* — вот первое условие мартенования. В зависимости от способности печи нагреть ванну до температуры 1600° регулируется состав ванны так, чтобы *время окисления примесей чугуна равнялось бы времени нагревания ванны.* Если печь греет плохо, операцию растягивают, искусственно делая ванну более богатой примесями. Для этого есть два средства: 1) прибавить к чугуну большее или меньшее количество железа в виде ломи, скрапа или, в прежнее время, пудлинговых криц; 2) окислить примеси рудой. По шихте мартеновской печи всегда можно сказать, как работает печь. Например, в двух печах работают на одном и том же чугуне, металл одного и того же качества; в одном случае держатся шихты 40% чугуна и 60% железной ломи; в другом — 25% чугуна и 75% ломи; безошибочно можно сказать, что вторая печь работает горячее, чем первая.[1] Мало того, нередко, пока печь новая, она идет на одной шихте, по мере ее разгара и ухудшения ее работы в шихте увеличивают процент чугуна.

Увеличивая процент железа в шихте или работая с рудой, мы можем в широких пределах менять, смотря по надобности, состав и сокращать время кипения ванны.

Итак, центр тяжести процесса лежит в задаче нагреть ванну, а потому надо уметь выстроить печь так, чтобы она хорошо грела; надо уметь управлять печью так, чтобы она дала максимум тепла и не оплавилась бы сама. Вместе с тем надо дать себе точный отчет о работе, которую мы возлагаем на печь; надо уметь точно учитывать термичность реакций, происходящих в ванне печи.

Вот вопросы, выдвигаемые требованиями дешевизны передела чугуна в сталь, вопросы производительности печи.

[1] За исключением случая, когда операции н а р о ч н о затягиваются для получения высоких сортов металла.

Другая сторона дела — качество стали. Как в бессемеровании и в томасировании, так и в мартеновании мы должны уметь готовить *здоровую сталь* и должны точно учитывать все факторы, способствующие получению такой стали или вредящие ему.

МЕХАНИЗМ ОКИСЛЕНИЯ ВАННЫ ПЕЧНЫМИ ГАЗАМИ

Вопрос о том, как окисляется ванна печными газами, до сих пор остается незатронутым. Ходячее выражение «ванна окисляется через шлак» ничего не говорит, ибо слой шлака, по существу дела, должен бы играть роль изолятора углеродистой ванны от кислорода пламени.

С другой стороны, содержание кислорода в пламени правильно ведомой мартеновской печи очень невелико (при полуторном расходе вторичного воздуха кислорода в пламени около 5% по объему); поэтому окисление пламенем находится в неблагоприятных условиях. Между тем, в действительности ванна окисляется, примеси выгорают; металл насыщается закисью железа.

Начнем с выяснения физических условий реакции окисления ванны пламенем. Пламя мартеновской печи неоднородно. Если мы поднесем к заслонке мартеновской печи зажженную лучину, то увидим, что под заслонку печи засасывается воздух в то время, когда в верхней части заслонки выбивается ореол пламени. Холодный воздух в 6—7 раз тяжелее печных газов, занимающих рабочее пространство печи; вот почему он стелется очень тонким слоем по поверхности шлака. Если поместить свой глаз на уровне ванны и, по возможности не поднимая заслонки, смотреть на поверхность ее, то легко увидеть, что между пламенем и ванной находится тонкая прослойка прозрачного воздуха.

Итак, хотя в самом пламени кислорода очень мало, обыкновенно около двух объемных процентов, но шлак в мартеновской печи омывается чистым воздухом. Направляя при помощи пролетов пламя на уровень ванны, мы отчасти смешиваем этот студящий ванну холодный поток воздуха с пламенем, но его не уничтожаем. В результате на жидкий шлак мартеновской печи воздействует кислород воздуха.

По составу шлак кислой печи есть бисиликат железа и марганца; шлак основной печи, вероятно, есть раствор моносиликатов извести, железа и марганца, основной фосфорнокислой извести и периклаза, представляющего изоморфную смесь окислов типа RO (MgO, FeO, MnO и CaO).

Поставим себе вопрос так: что делается с огнежидкими силикатами железа и марганца от воздействия на них кислорода воздуха?

Каждому металлургу случалось наблюдать изменения силикатов на поверхности шлаков, текущих из горна печей и стынущих на воздухе. Марганцовистые доменные шлаки имеют на своей поверхности бурую корочку; железистые, сварочные, пудлинговые, медеплавильные шлаки — матовые металлические пятна. Особенно характерна на бессемеровских шлаках, богатых закисью марганца, поверхностная глазурь цветов от светлобурого (цвета корочки белого хлеба), через вишнево-красный, до цвета сливы и, наконец, черного с металлическими пятнами. Медистые, бедные железом шлаки иногда имеют корочку кирпично-красную.

Корочка эта, как глазурь, проникает на доли миллиметра в глубину. Вид кусков шлака с корочкой на местах воздействия воздуха не оставляет никакого сомнения в том, что мы имеем перед собою продукты воздействия кислорода на силикаты металлических окислов или растворенные окислы.

Исследование, произведенное над причиной изменения окраски шлаков под влиянием воздуха, принадлежит Мюллеру.[1] Он так описывает свои наблюдения:

«Шлаки получаются как в аморфном (при быстром охлаждении), так и в кристаллическом состоянии (при медленном остывании). С поверхности окрашены обыкновенно в более или менее бурый цвет — от окисления... Очень интересна способность аморфных шлаков легко окисляться. Порошок их на воздухе еще раньше каления быстро темнеет и увеличивается в весе.

Состав исследованных шлаков
(в процентах)

Шлак	№ 1	№ 2	№ 3
SiO_2 . . .	43.37	53.5	52.7
MnO . . .	45.41	36.5	38.2
FeO	9.04	6.7	6.5
Al_2O_3 . . .	1.99	—	—
CaO	Следы	—	—

Порошок же шлака № 1 при быстром накаливании на платиновой чашке просто тлеет... Приращение веса при прокаливании пропорционально содержанию FeO и MnO. Содержание в окисленном шлаке высших окислов марганца видно из того, что при нагревании его с соляной кислотой образуется хлор. При накаливании шлака в струе хлористого водорода получается также хлор, и в холодной части трубки осаждаются Fe_2Cl_6 и вода, что подтверждает существование в шлаке окиси железа...

Аморфный шлак, окисленный накаливанием на воздухе, быстро и вполне восстановляется водородом при слабом накаливании. Это легкое восстановление наводит на мысль, что присоединенный кислород должен снова выделяться при сильном накаливании. Это находит подтверждение в том, что накаленная до плавления проба вскипает от выделяющегося кислорода...

Кристаллические шлаки получают при накаливании только незначительное приращение веса. Отсюда следует, что кристаллический шлак при накаливании не окисляется.

При исследовании их под поляризационным микроскопом порошок их оказывается состоящим из просвечивающих обломков двупреломляющих кристаллов в смеси с непрозрачными аморфными частицами».

В лабораториях Ленинградского политехнического института делались неоднократные исследования силикатов железа;[2] при сплавлении их в графитовых и стальных тиглях неизменно получались силикаты, пузыристые настолько, что возникали сомнения о возможности делать выводы из полученных результатов. Только в тиглях из мягкого железа удавалось получать малопузыристые силикаты: анализы полученных силикатов обнаруживали постоянно присутствие около 1—2% Fe_2O_3 при работе в железных тиглях и 1.5 — 7.7% Fe_2O_3 при работе в графитовых тиглях. Постоянное присутствие Fe_2O_3 даже при плавке в графитовых

[1] E. Müller, V. D. I. 22, 385, 454, 1878, Горн. журн. 1878, 3, 175; описываются бессемеровские шлаки.

[2] ЖРМО, 1912, I: 1) работы Н. Константинова и Б. Селиванова, стр. 767; 2) работа Н. Цмеля, стр. 783.

тиглях свидетельствует о том, что силикаты в графитовых и стальных тиглях разлагались по реакции:

$$2FeO\,SiO_2 + O_{воздуха} = Fe_2O_3 + 2SiO_2;$$

$$2SiO_2 + Fe_2O_3 + C_{графита} = 2FeO\,SiO_2 + CO.$$

При сплавлении силикатов в железных тиглях происходило обогащение силикатов закисью железа по реакции:

$$2FeO\,SiO_2 + O_{воздуха} = Fe_2O_3 + 2SiO_2;$$

$$Fe_2O_3 + 2SiO_2 + Fe_{тигля} = 3FeO + 2SiO_2.$$

Чтобы компенсировать это обогащение силикатов железом, в шихту силиката вводилось 5—6% излишнего SiO_2.

При анализах шлаков металлургических печей в лабораториях на реакцию разложения силикатов воздухом не обращается никакого внимания; вот почему в анализах шлаков, полученных в восстановительной атмосфере (например, шлаки бессемерования), можно нередко встретить Fe_2O_3. В этих случаях, несомненно, происходит ошибка при взятии пробы шлака; очевидно, в пробу попала окисленная корочка шлака.

Напротив того, в анализах шлаков малого бессемерования и в мартеновских шлаках определение Fe_2O_3 только подтверждает нижеследующую гипотезу механизма передачи кислорода через шлак: кислород воздуха, засасываемого через заслонки, разлагает силикаты Fe и Mn с образованием высших степеней их окисления Fe_2O_3 и Mn_2O_3; эти последние, растворяясь в шлаке, окисляют железо ванны в закись железа и вновь превращаются в силикаты; образовавшаяся закись железа или просто растворяется в железе или окисляет C, Si, Mn и P. Таким образом, силикаты Fe и Mn передают кислород воздуха ванне, в конечном итоге не меняясь в своем составе. Устанавливается равновесие между процессом разложения силиката и процессом окисления им примесей ванны; поэтому некоторое количество металлических окислов шлака всегда находится в виде Fe_2O_3 и Mn_2O_3. В анализах мартеновских шлаков лабораториями весьма часто количество Fe_2O_3 указывается в 1—2.5%, причем по способу определения нельзя быть уверенным, что мы имеем Fe_2O_3, а не Mn_2O_3 или, что более вероятно, раствор их магнитных окисей.

Напишем реакцию распадения силикатов:

$$\frac{1}{2}\,O_2 + n\,FeO\,SiO_2 = Fe_2O_3 + (n-2)\,FeO\,SiO_2 + 2SiO_2 + 44\,601 \text{ кал};$$

$$\frac{1}{2}\,O_2 + 2\,(FeO)_2\,SiO_2 = Fe_2O_3 + 2FeO\,SiO_2 + 40\,409 \text{ кал}.$$

Реакции обратного образования силикатов за счет окисления железа ванны будут:

$$Fe_2O_3 + (n-2)\,FeO\,SiO_2 + 2SiO_2 + Fe = FeO + n\,FeO\,SiO_2 + 22\,112 \text{ кал};$$

$$Fe_2O_3 + 2FeO\,SiO_2 + Fe = FeO + 2\,(FeO)_2\,SiO_2 + 26\,304 \text{ кал}.$$

В конечном результате мы получим для каждой пары реакций окисление железа по реакции

$$Fe + O = FeO + 66\,713 \text{ кал},$$

и, действительно:

$$44\ 601 + 22\ 112 = +66\ 713 \text{ кал},$$
$$44\ 409 + 22\ 304 = +66\ 713 \text{ кал}.$$

Для написания реакций окисления ванны марганцовыми силикатами, к сожалению, нам не хватает данных, но несомненно, результат должен быть такой же, как и в случае железных силикатов.

Экзотермичность реакций распадения силикатов порождает то чрезвычайно странное тление порошка силикатов при накаливании на воздухе, которое было замечено Мюллером в 1878 г.

Выводы, к которым приводит нас изучение термичности реакций окисления ванны через шлак, чрезвычайно важны:

а) реакция распадения силикатов железа экзотермична, а потому высокая температура ванны будет тормозить эту реакцию; напротив того, она очень охотно пойдет в стылой ванне;

б) реакция окисления железа и восстановления силиката опять-таки пойдет неохотно в горячей ванне и очень охотно в стылой ванне.

Итак, окисление ванны через шлак идет тем охотнее, чем ниже температура ванны. В горячей ванне эта реакция идет неохотно — замедленным темпом.

Вывод этот дает нам ключ к пониманию основ мартеновской плавки. Всякий плавильщик знает, что если ему не удается хорошенько нагреть ванны, то металл, им полученный, будет пениться в изложнях. Он будет *богат закисью железа*, которая при остывании реагирует с углеродом и дает обильное выделение газов.

Сейчас мы нашли одну из причин этого явления: окисление через шлак замедляется с повышением температуры ванны; т. е. когда ванна нагревается, то она начинает получать в единицу времени все меньше и меньше закиси железа.

Эта закись железа разлагается в ванне углеродом металла по реакции:

$$FeO + C = CO + Fe - 37\ 283 \text{ кал}.$$

Реакция эндотермичная, а потому идущая тем охотнее, чем выше температура.

Итак, чем выше температура, тем меньше ванна получает закиси железа и тем охотнее эта закись железа разлагается углеродом. Обе реакции помогают друг другу уменьшить содержание FeO в металле и способствуют таким образом получению здоровой стали.

Итак, повышенная температура ванны во время горячих плавок замедляет окисление составных частей кислой ванны через шлак и в то же время способствует развитию реакции разложения закиси железа металла углеродом ванны, т. е. повышение температуры в конце плавки содействует получению здорового металла.

Если прибавить к этому, что чем горячее ванна, тем шлак беднее металлическими окислами (как мы увидим ниже), а следовательно, тем слабее реакция окисления силикатов, то мы увидим полную зависимость получения здоровой стали от температуры, царящей в кислой печи.

В очень известковистых шлаках основных мартеновских печей трудно предполагать существование силикатов железа и марганца. Вероятнее предположить, что окислы типа RO образуют соединения, подобные «периклазу», в состав которых входит, кроме MgO и CaO, также FeO и MnO. На поверхности ванны под влиянием кислорода воздуха FeO окисляется в Fe_2O_3, MnO в Mn_2O_3 и дают соединения типа минерала магноферрита

$MgO \cdot Fe_2O_3$[1] или феррат $CaO \cdot Fe_2O_3$. Такое превращение периклаза в магноферрит мы имеем случай наблюдать при обжиге и работе магнезитового кирпича. Если прокаливать магнезитовый кирпич в восстановительной атмосфере, то он делается белым вследствие восстановления Fe_2O_3 в FeO. При продолжительном прокаливании при очень высокой температуре он становится весьма твердым и кристаллического строения со спайностью периклаза. При обратном прокаливании белого магнезитового кирпича в воздухе FeO окисляется в Fe_2O_3, белый кирпич делается *бурым*, связь между частицами периклаза нарушается, и кирпич разбивается трещинами.

Надо полагать, что когда основной шлак мартеновской печи, в растворе коего находится периклаз, подвергается окислению воздухом пламени, то периклаз переходит в магноферрит; последний растворяется в шлаке, приходит в соприкосновение с поверхностью углеродистого металла и восстанавливается этим последним в периклаз. Таким образом, кислород пламени передается ванне. Тепловые эффекты образования периклаза и магноферрита нам неизвестны, а поэтому термичности этого превращения здесь не даются, но с несомненностью можно сказать, что окисление FeO в Fe_2O_3 идет с выделением тепла, а обратная реакция—с поглощением тепла, а потому *в холодной ванне окисление пойдет очень энергично, восстановление же закиси железа в металле замедлится. Напротив того, в горячей ванне окисление пойдет плохо, восстановление же будет очень энергично. Посему низкая температура ванны будет способствовать получению очень окисленного шлака и нездоровой ванны под ним. Высокая температура, напротив того, будет способствовать получению мало окисленного шлака и здорового металла под ним.* Вывод тот же, что и для кислой печи.

РЕАКЦИЯ ОКИСЛЕНИЯ ПРИМЕСЕЙ ЧУГУНА КИСЛОРОДОМ ПЛАМЕНИ

В главе «Механизм окисления ванны печными газами» мы уже вполне выяснили себе, что посредничество шлака в передаче кислорода ванне не оказывает влияния на термичность реакций окисления примесей. Окисление примесей через шлак дает мартеновской ванне совершенно то же количество тепла, как и в бессемеровании, и в данном случае мы должны руководствоваться теми же данными о теплотах, отдаваемых ванне единицей сгорающего элемента.

Эти данные совершенно определенно указывают нам, какое количество калорий дает ванне каждая сгорающая при разных температурных условиях примесь. Из них мы видим, что в кислом процессе прекрасным топливом является кремний, в основном — фосфор. Весьма плохим топливом является для ванны углерод, ибо в ванне идет горение только в CO; но окись углерода сгорает в углекислоту только над поверхностью ванны, *нагревая печь*, что и дает впечатление нагрева ванны. Это обстоятельство часто создает среди неопытных сталеваров убеждение, что ванна *сильно нагревается во время кипения*, т. е. во время горения углерода, и что, заставив ванну кипеть (например, подсадкой руды, см. ниже), мы нагреем металл; это, конечно, является грубым заблуждением. Сама по себе реакция окисления углерода ванны не нагревает, но она затягивает

[1] Вообще Fe_2O_3 обладает при высоких температурах как бы кислотными свойствами, легко образуя соединения с основаниями типа шпинели; например, хорошо образованные кристаллы феррата $mCaO \cdot nFe_2O_3$ без труда получаются сплавлением извести и Fe_2O_3 и часто встречаются при опытах плавления Fe_2O_3 в известковых тиглях (Н. А. Цмель, ЖРМО. 1912, 1, 767).

процесс окисления примесей ванны и таким образом дает время ванне позаимствовать нужное ей тепло от пламени.

Несмотря на то, что абсолютное количество тепла, даваемого ванне горением кремния, фосфора и других примесей, велико, это количество тепла является часто величиной незначительной в общем тепловом балансе плавки, так как окисление примесей через шлак идет очень замедленным темпом. Если мартеновская печь сконструирована правильно, то она совершенно не нуждается в теплоте окисления примесей кислородом пламени, и все нагревание ванны от температуры 1200° (плавления чугуна) до 1600° (температуры литого железа) производится за счет теплоты печи.

Введение излишка Si и Mn затягивает плавку и увеличивает угар передела, поэтому заводы, обладающие горячо работающими печами, требуют для передела малокремнистый белый, так называемый мартеновский передельный чугун (Si менее 1%, Mn менее 1.5%, P и S поменьше, C до 4%).

Однако в прежнее, еще недавнее время, а местами и сейчас, некоторые заводы работают на чугуне с 1.5—2.5% Si и 1.5—2.5% Mn. Печи этих заводов работают так холодно, что окисление примесей является желанным помощником при нагреве ими ванны. Слабая нагревательная способность таких печей особенно ясно видна в ошибочно проведенных плавках, когда плавку «заквасили», или плавка «закисла» ранее, чем нагрелась, т. е. неумеренной прибавкой руды плавку обезуглеродили, а нагреть не успели. Такая заквашенная плавка при хорошо работающей печи быстро исправляется подсадкой некоторого количества штыкового чугуна, который обуглерод ит ее настолько, чтобы дать время нагреть ее во время окисления введенного углерода. При плохо работающей печи подсадки одного чугуна мало. Приходится помогать печи в нагреве ванны прибавкой кремнистого чугуна, иначе плавка неудачно разольется.

На некоторых заводах прибавка кремнистого чугуна перед разливкой производится постоянно. Цель такой прибавки — подогреть ванну перед выпуском.

Мы увидим, что причиной слабой нагревательной способности печи обыкновенно являются плохого качества влажный генераторный газ, маленькие регенераторы, а часто и просто неумение правильно пропорционировать количество газа и воздуха. К этому надо прибавить слабое питание печи газом и воздухом при разгаре ее вследствие засорения регенераторов, также неправильное направление фонтанов пламени на ванну и другие конструктивные недостатки печей.

РЕАКЦИЯ ОКИСЛЕНИЯ ПРИМЕСЕЙ ЧУГУНА РУДОЙ В КИСЛОЙ ПЕЧИ

Руда, употребляемая для окисления примесей, может быть холодная, подогретая или расплавленная. При описании рудного процесса мы увидим, что работа на расплавленной или сильно подогретой руде на практике не применяется, и рудный процесс ведется на холодной руде, что мы и примем во внимание при расчете термичности реакций окисления.

Все руды, применяемые для окисления примесей, принадлежат к типу богатых красных железняков (например, руды Кривого Рога), магнитных железняков и бурых железняков. Последние так легко обжигаются, [1] так легко обращаются в безводную окись железа, что реагируют

[1] Температура обжига бурых железняков 400° (И. А. Соколов. О восстановлении железных руд, стр. 4).

Таблица 6

Теплота окисления примесей чугуна в кислой печи

Реакции	Теплота реакции, кал		Расход тепла на нагрев руды до температуры ванны, кал			Остаток тепла реакции в пользу ванны при ее температуре, кал			Теплота (±) (в кал) в ванну на 1 кг реагирующего кислорода при температуре ванны		
	уд. теплота реакции	на 1 кг реагирующего O_2	1200°	1400°	1600°	1200°	1400°	1600°	1200°	1400°	1600°
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
$Si + Fe_2O_3 = FeSiO_3 + Fe$ [1]	+75 046	+1563	71 270	91 571	114 278	+3776	−16 525	−39 232	+78.7	−344.3	−817.3
$4Si + 3Fe_3O_4 = 4FeSiO_3 + 5Fe$ [1]	+268 872	+1400	212 976	264 062	319 603	+55 893	+4 810	−50 731	+291	+25	−264
$3Mn + Fe_2O_3 + 3SiO_2 = 3Mn\,SiO_3 + 2Fe$ [2]	+97 288	+2027	71 270	91 571	114 278	+26 018	+5 717	−16 990	+542	+119	−354
$4Mn + Fe_3O_4 + 4SiO_2 = 4MnSiO_3 + 3Fe$ [2]	+119 280	+1864	70 992	88 021	106 534	+48 288	+31 259	+12 746	+754	+488	+199
			Расход тепла на нагревание продуктов реакции до температуры ванны								
$3C + Fe_2O_3 = 3CO + 2Fe$ [3]	−109 877	−2289	56 071	64 521	73 092	−149 705	−154 843	−159 929	−3 119	−3 226	−3332
$4C + Fe_3O_4 = 4CO + 3Fe$ [3]	−156 940	−2452	79 771	91 662	103 714	−215 053	−222 528	−229 934	−3 360	−3 477	−3593
Реакция в полости печи:											
$CO + 1/2\,O_2 = CO_2$ [4]	+68 220	+4264	—	—	—	—	—	—	—	—	—

[1] Теплота плавления руды ввиду отсутствия данных и приблизительности расчета не учитывается.

[2] SiO_2 предполагается нагретым до температуры ванны.

[3] Учитывается расход тепла на плавление железа, равный 68 кал на 1 кг.

[4] Кислород предполагается нагретым до температуры ванны.

на ванну в виде окиси железа, потому их можно причислить к группе Fe_2O_3 (красных железняков).

В нижеследующей табл. 6 сосредоточены данные термичности окисления примесей чугуна при помощи Fe_2O_3 и Fe_3O_4; в 1-й графе дана общая теплота реакций окисления, в 3-й, 4-й и 5-й графах—расход тепла для подогрева руды или продуктов реакции до температуры ванны, причем мы пользуемся для вычисления теплоемкостей:

окиси железа — формулой Ричардса:

$$C_0^t = 0.1456 + 0.000188\,t,$$

откуда

$$C_0^{1200} = 0.3712 \text{ кал / кг}$$

$$C_0^{1400} = 0.4088 \quad »$$

$$C_0^{1600} = 0.4464 \quad »$$

магнитной окиси — формулой Бека [1]:

$$C_0^t = 0.159 + 0.0008t,$$

откуда

$$C_0^{1200} = 0.255 \text{ кал / кг}$$

$$C_0^{1400} = 0.271 \quad »$$

$$C_0^{1600} = 0.287 \quad »$$

Количество тепла, которое останется на нагревание ванны (или на понижение ее температуры), будет равно *приблизительно* разности между теплотой реакции и теплотой нагрева руды.

Например, для более или менее точного вычисления теплоты, выделяемой реакцией

$$Si + Fe_2O_3 = FeSiO_3 + Fe,$$

при употреблении холодной руды надо бы знать теплоемкости Si, $FeSiO_3$ и жидкого железа. Для приблизительного же подсчета этой величины можно предположить, что сумма теплоемкостей продуктов реакций примерно та же, что сумма теплоемкостей реагирующих веществ, т. е. предполагая, что расход тепла на нагрев Fe и $FeOSiO_2$ будет равен расходу на нагрев Fe_2O_3 и Si.

При вычислении термичности реакции

$$3C + Fe_2O_3 = 3CO + 2Fe$$

мы можем сделать более точный подсчет, ибо теплоемкости CO и Fe нам известны.

РЕАКЦИЯ ОКИСЛЕНИЯ ПРИМЕСЕЙ ЧУГУНА РУДОЙ В ОСНОВНОЙ ПЕЧИ

Окисление примесей чугуна рудой в основных печах может быть произведено: а) расплавленной рудой с прибавкой извести (способ Горяиновых); б) нагретой рудой и в) холодной рудой (обыкновенный рудный процесс). Для ошлакования кремния и фосфора может быть введена или обожженная известь или известняк. Поэтому тепло реакций окисления должно пойти на нагревание продуктов этих реакций до температуры ванны, на разложение известняка и только за покрытием этих расходов теплота может расходоваться на нагревание ванны.

[1] Она дана Беком в пределах 0—800°, однако за отсутствием данных она применяется для расчетов и при более высоких температурах.

ТЕРМИЧНОСТЬ РЕАКЦИИ ОКИСЛЕНИЯ ПРИМЕСЕЙ ЧУГУНА ОКИСЬЮ ЖЕЛЕЗА

Реакция окисления кремния

$$3Si + 2Fe_2O_3 + 6CaCO_3 = 4Fe + 3(CaO)_2SiO_2 + 6CO_2.$$

Термичность этой реакции при 1300°:

219 460·3 — 198 167·2 — 81 120·2 — 79 002·6 = — 374 206 кал
На единицу реагирующего кислорода . . — 3 898 »

При 1600° получим:

219 460·3 — 198 167·2 — 114 278·2 — 89 622·6 = — 504 242 кал
На единицу O_2 . . . . . — 5 253 »

Если вместо известняка употреблять CaO (как в процессе Тальбота), то эндотермичность этой реакции уменьшается.

При 1300° получим:

219 460·3 — 198 167·2 — 81 120·2 — 19 802·6 = — 19 006 кал
На единицу O_2 . . . . . — 198 »

При 1600° получим:

219 460·3 — 198 167·2 — 114 278·2 — 26 432·6 = — 125 102 кал
На единицу O_2 . . . . . — 1 303 »

Вот причина, почему в печах, работающих холодно, известняк нередко заменяется известью.

Реакция окисления марганца

$$3Mn + Fe_2O_3 = 3MnO + 2Fe,$$

идет с тепловым эффектом при 1300°:

90 760·3 — 198 167 — 81 120 = — 7 007 кал
На единицу O_2 . . . . . — 146 »

При 1600°:

90 760·3 — 198 167 — 114 278 = — 40 165 кал
На единицу O_2 . . . . . — 837 »

Реакция окисления фосфора

$$6P + 5Fe_2O_3 + 12CaCO_3 = 10Fe + 3(CaO)_4P_2O_5 + 12CO_2.$$

При 1300°:

530 100·3 — 198 167·5 — 79 002·12 — 81 120·5 = — 754 159 кал
На единицу O_2 . . . . . — 3 142 »

При 1600°:

530 100·3 — 198 167·5 — 89 622·12 — 114 278·5 = — 1 047 389 кал
На единицу O_2 . . . . . — 4 364 »

При употреблении CaO вместо $CaCO_3$ (процесс Тальбота) получим:
При 1300°:

530 100·3 — 198 167·5 — 19 802·12 — 81 120·5 = — 43 759 кал
На единицу O_2 . . . . . — 182 »

При 1600°:

530 100·3 — 198 167·5 — 26 432·12 — 114 278·5 = — 289 109 кал
На единицу O_2 . . . . . — 1 205 »

Термичность реакции горения углерода

$$3C + Fe_2O_3 = 3CO + 2Fe.$$

При 1300°:

$-198\,167 + 29\,430\cdot3 + 0.382^1\cdot12\cdot3\cdot1\,300 - (216 + 68)\cdot112^2 - 9\,450\cdot3 = -152\,158$ кал
На единицу O_2 . . . . . = — 3170 »

При 1600°:

$-198\,167 + 29\,430\cdot3 + 0.400\cdot12\cdot3\cdot1\,600 -$
$-(0.167\cdot1\,600 + 68)\,112 - 11\,850\cdot3 = -159\,929$ кал
На единицу O_2 . . . . . — 3 332 »

ТЕРМИЧНОСТЬ РЕАКЦИИ ОКИСЛЕНИЯ ПРИМЕСЕЙ ЧУГУНА МАГНИТНОЙ ОКИСЬЮ ЖЕЛЕЗА

Окисление кремния

$$2Si + Fe_3O_4 + 4CaCO_3 = 3Fe + 2(CaO)_2SiO_2 + 4CO_2.$$

При 1300° получаем:

219 460·2 — 274 660 — 79 022·4 — 79 321 = — 231 069 кал
На единицу O_2 . . . . . — 3 610 »

При 1600°:

219 460·2 — 274 660 — 89 622·4 — 106 534 = — 300 762 кал
На единицу O_2 . . . . . — 4 699 »

При употреблении CaO вместо $CaCO_3$ получаем при 1300°:

219 460·2 — 274 660 — 19 802·4 — 79 321 = + 5 731 кал
На единицу O_2 . . . . . + 90 »

При 1600°:

219 460·2 — 274 660 — 26 432·4 — 106 534 = — 48 002 кал
На единицу O_2 . . . . . — 750 »

Окисление марганца

$$4Mn + Fe_3O_4 = 4MnO + 3Fe.$$

При 1300° дает

90 760·4 — 274 660 — 79 321 = + 9 059 кал
На единицу O_2 . . . . . + 141 »

[1] Теплоемкость углерода.
[2] Расход тепла на нагрев железа с добавлением 68 кал скрытой теплоты плавления.

При 1600°

90 760·4 — 274 660 — 106 534 = — 18 154 кал
На единицу O_2 . . . . . — 284 »

Окисление фосфора

$$4P_2 + 5Fe_3O_4 + 16CaCO_3 = 15Fe + 4(CaO)_4P_2O_5 + 16CO_2.$$

При 1300°:

530 100·4 — 274 660·5 — 79 002·16 — 79 321·5 = — 913 537 кал
На единицу O_2 . . . . . — 2 855 »

При 1600°:

530 100·4 — 274 660·5 — 89 622·16 — 106 534·5 = — 1 219 522 кал
На единицу O_2 . . . . . — 3 811 »

При употреблении CaO вместо $CaCO_3$ получаем при 1300°:

530 100·4 — 274 660·5 — 79 321·5 — 19 802·16 = + 33 663 кал
На единицу O_2 . . . . . + 105 »

При 1600°:

530 100·4 — 274 660·5 — 106 534·5 — 26 432·16 = — 208 482 кал
На единицу O_2 . . . . . — 652 »

Окисление углерода

$$4C + Fe_3O_4 = 4CO + 3Fe.$$

При 1300°:

29 430·4 — 274 660 + 0.382·12·4·1 300 — 3·56·284 — 9 450·4 = — 218 615 кал
На единицу O_2 . . . . . — 3 416 »

При 1600°:

29 430·4 — 274 660 + 0.400·12·4·1 600 —
— 3 (0.167·1 600 + 68)·56 — 11 850·4 = — 229 934 кал
На единицу O_2 . . . . . — 3 593 »

Расчет ведется, как было указано, на известняк и известь теоретического состава; в действительности, конечно, приходится учитывать наличность некоторого количества примесей, что несколько усложняет расчет. Общий характер термичности вышеприведенных реакций тем не менее останется примерно таким же. Диссоциация CO_2 не принята во внимание.[1]

Общий вывод, из рассмотрения реакций окисления примесей чугуна рудой в кислой и основной печи, следующий:

1. Все примеси чугуна окисляются за счет кислорода руды или с весьма малым положительным тепловым эффектом, большею же частью с значительным отрицательным тепловым эффектом; поэтому обогащение чугуна кремнием, марганцем, фосфором и углеродом при рудном процессе невыгодно. Этим путем мы не способствуем более горячему ходу плавки, как в скрап-процессе при окислении примесей кислородом пламени.

[1] Пользоваться данными о степени диссоциации CO_2 для различных парциальных давлений и температур в данном случае едва ли представляется возможным ввиду присутствия в газовой смеси свободного кислорода избыточного воздуха.

2. Введение избытка Si и P, кроме того, увеличивает количество подсадки руды и флюса, следовательно, увеличивает количество шлака и задерживает нагревание ванны под толстым слоем шлака.

3. Увеличенное количество шлака и эндотермичность реакций окисления рудного процесса предъявляют к печи требования очень горячей работы, сравнительно со скрап-процессом. Удача рудного процесса всецело зависит от того, насколько горячо работает печь.

4. При работе на горячей руде и на извести вместо известняка эндотермичность реакций окисления примесей чугуна заметно уменьшается: некоторые реакции делаются при этом слабо экзотермичными, поэтому предварительная подсадка руды и известняка до вливания чугуна способствует более горячему ходу плавки и сокращает время нагревания металла. Напротив того, *подсадки руды и известняка во время кипения ванны и поспевания ее крайне вредны, как сильно студящие ванну*. Практика подтверждает этот вывод: завалка всей руды, известняка и скрапа в начале операции практикуется ныне всеми заводами.

Ввиду этого при рассмотрении термичности реакций окисления примесей чугуна кислородом руды при рудном процессе, ведомом нормально, я буду принимать, что реагирующим флюсом является CaO, а не $CaCO_3$, а потому буду считать, что реакции окисления рудой в основной печи, при нормальной работе, дают следующие термические эффекты:

Окисление кремния	при	1300°	. . .	198	кал	на 1 кг	O_2
» марганца	»	1300°	. . .	146	»	»	»
» фосфора	»	1300°	. . .	182	»	»	»
» углерода	»	1300°	. . .	3170	»	»	»
» »	»	1600°	. . .	3332	»	»	»

Напротив того, при рассмотрении термической роли подсадки руды и известняка во время кипения ванны надо считать реагирующим $CaCO_3$, что значительно изменит некоторые цифры.

Для окисления	Si	при	1300°	. . .	3898	кал	на 1 кг O_2
» »	Si	»	1600°	. . .	5253	»	» » »
» »	Mn	»	1300°	. . .	146	»	» » »
» »	Mn	»	1600°	. . .	837	»	» » »
» »	P	»	1300°	. . .	3142	»	» » »
» »	P	»	1600°	. . .	4364	»	» » »
» »	C	»	1300°	. . .	3170	»	» » »
» »	C	»	1600°	. . .	3332	»	» » »

ИСТОРИЧЕСКИЙ ОЧЕРК ОСНОВНОГО ПРОЦЕССА

Кислое мартенование, так же как бессемерование, делало нас бессильными бороться с двумя главными врагами железа — с фосфором и серой. Практически говоря, в кислых печах можно было перерабатывать только чистые чугуны и чистую ломь, или чистые пудлинговые крицы.[1]

[1] Так как чистых руд в Западной Европе было очень мало, то по инициативе завода Тер нуар на кислом поду готовили малоуглеродистые рельсы, заключавшие в себе около 0.6—1.0% Mn, до 0.2% P и 0.15—0.20% углерода; эти рельсы выдерживали удовлетворительно испытания министерства путей сообщения и производились в большом количестве, пока основной под не научил нас готовить лучший, более чистый материал.

Большинство европейских стран обладает только фосфористыми рудами, поэтому совершенно понятен будет тот переворот, который произвел в конце 70-х годов Томас и в мартеновском производстве. Идеи Томаса были применены к мартеновскому производству очень скоро. Уже в 1880 г. в Петербурге было построено отделение французского завода Тер нуар, так называемый Александровский сталелитейный завод,[1] предназначенный специально для переработки грязного скрапа, скупаемого на рынке, грязных кливлендских и дешевых, чистых относительно серы, но фосфористых чугунов Урала, в котельное и судовое железо высших качеств для надобностей флота. Производство пошло сразу великолепно, и Александровский завод явился поставщиком лучшего котельного железа в России.

Под печей Александровского сталелитейного завода был сделан *набивной* — из «*на-смерть*» обожженного доломита с каменноугольной смолой. Благодаря рыхлости этого пода, он сильно прорастал металлом и доставлял много хлопот во время работы.

Весьма облегчена была задача получения хорошего пода французскими инженерами Вальтоном и Ремори, взявшими привилегию на устройство пода и стенок печи из хромистого железняка, поверх которого *наваривался* слой доломита. Эти поды были совершеннее *набивных* доломитовых подов. Наконец, уже в наше время, во всеобщее распространение входит под магнезитовый, из магнезитового кирпича, поверх которого делается наварка магнезита.

Из методов работы первым появился скрап-процесс с подсадкой, для ускорения плавки, руды и окалины. Затем явился примененный бр. Горяиновыми способ работы на жидкой расплавленной руде и жидком доменном чугуне (1894 г.); но вследствие бурности реакции способ этот оказался неудобным и был оставлен.

В 1900 г. Монель в Питсбурге взял патент на обыкновенный рудный процесс на жидком доменном чугуне. Однако патент его был оспорен, и так как он не добился хороших практических результатов, то способ этот не получил распространения. Только работы инженера Рижского политехнического института К. К. Дихмана в Донецко-Юрьевском заводе в 1905 г. произвели целую революцию в мировом приготовлении стали. Никакого патента Дихман не брал, а напротив того, подверг рудный процесс самому подробному научному исследованию и широко публиковал результаты своих наблюдений и работ. Его исследования были продолжены Наске в том же Юрьевском заводе и, наконец, обработаны К. К. Дихманом в его книге «Der basische Herdofenprozess», увенчанной в Германии высшей премией Люга. В настоящее время все сталеделательные заводы перешли на работу рудным процессом на жидком чугуне, оказавшимся настолько выгодным, что он в состоянии заменить не только бессемеровскую реторту, но и реторту Томаса.

Кроме обыкновенного рудного процесса, некоторое временное распространение получил способ непрерывного мартенования Тальбота, интерес к которому уже упал, так же как к его видоизменению — способу русского инженера Суржицкого.

Гораздо более будущности имеет способ Тиль—Бертрана, видоизмененный ныне заводом Геш, и затем способ завода «Юнион» в Дортмунде в качающихся печах Вельмана. К рассмотрению этих отдельных способов мы теперь и переходим.

[1] Перешедший затем во владение Обуховского завода.

СКРАП-ПРОЦЕСС В ОСНОВНЫХ ПЕЧАХ

После того, что сказано в предыдущих главах, об основном скрап-процессе остается сказать очень немногое.

Ш и х т а может быть малоуглеродистая, тогда мы имеем чистый скрап-процесс без прибавки руды; или углеродистая, тогда мы работаем скрап-рудным процессом на твердой завалке. И в этом и в другом случае шихту надо рассчитывать так, чтобы ванна кипела не менее $1\frac{1}{2}$—2 часов. При менее продолжительном кипении металл не успевает нагреться в такой мере, чтобы восстановительные реакции получили достаточное развитие, и металл получится плохо раскисленный. Продолжительность кипения зависит всецело от температуры печи. При низкой температуре в плохо работающей печи процесс кипения затягивается, но эндотермические реакции разложения закиси железа шлака и металла не развиваются, и продолжительность кипения не дает никакой гарантии спелости — раскисленности металла.

Из сказанного следует, что если кипение ванны идет вяло вследствие низкой температуры ванны, то его ни в коем случае не следует усиливать подкидкой руды, что весьма часто имеет место в заводах. Обогащение шлака окислами железа вызовет, конечно, кипение даже холодной ванны, но делать из этого заключение, что металл нагрелся, конечно, невозможно. Напротив того, он сделается еще холоднее и еще более насытится закисью железа.

Если мы составили шихту неудачно и ванна скоро сделалась очень мягкой, не успев нагреться, то дальнейшее нагревание ее *вне фришевания* даст металл, богатый закисью железа.

В этих случаях делается дополнительная подсадка чугуна с целью ввести в ванну столько углерода, чтобы затянуть кипение на время, достаточное для нагрева ванны. Но так как расплавление штыкового чугуна требует тепла, то при плохой работе печи метод этот неприменим. На одном из уральских заводов печь работала так плохо, что никогда не удавалось путем подсадки одного серого чугуна разогреть надлежащим образом ванну и получить достаточно спокойный металл при отливке. При каждой добавке чугуна ванна вторично окислялась, прежде чем нагревалась в должной степени. В этих случаях вместе с чугуном приходилось добавлять кремнистый или марганцовистый чугуны, о количестве которых можно было составить себе понятие на основании следующих соображений.

Для того чтобы расплавить 100 кг чугуна, нужно истратить тепла 23 660 кал.[1] Это количество теплоты может быть возмещено окислением кремния или марганца подсаживаемого чугуна, с образованием в первом случае соли кальция Ca_2SiO_4. Один кг кремния дает 7838 кал, марганца — 1650 кал, откуда следует, что прибавка холодного чугуна не остудит ванну, если в прибавляемом чугуне содержание кремния будет повышено до

$$\frac{23\,660}{7838} = 3.02\%,$$

или марганца до

$$\frac{23\,660}{1650} = 14.34\%$$

[1] Для расплавления 100 кг чугуна нужно тепла: $100 \cdot 1200 \cdot 0.178 + 100 \cdot 23 = 21\,360 + 2300 = 23\,660$ кал.

Вот почему для «подогрева», а вернее для затяжки операций с целью их нагрева, часто применяют подсадку холодного сильно кремнистого чугуна или, лучше, зеркального чугуна с 15% Mn. Последний лучше, ибо более углеродист (5.5% C) и не связывает флюса, как SiO_2.

При горячо работающих печах ванна получает в единицу времени так много тепла, что его с избытком хватает и на возмещение потери тепла от расплавления подсадки чугуна на нагревание ванны и на развитие реакций восстановления. Здесь подсадка нужна только как элемент *обуглероживания* ванны, как элемент, связывающий кислород пламени, передающийся через шлак ванне, и для затяжки операции на лишние $\frac{1}{2}$—$\frac{3}{4}$ часа, чтобы завершить весь цикл реакций мартеновской печи.

Возвращаясь к скрап-процессу как основному, так и кислому, нужно заметить, что скрап-процесс вообще отличается нижеследующими свойствами:

1. Небольшим количеством шлака. При работе на чистых чугунах в горячо идущей печи количество шлака бывает так мало, что при новой подине, всасывающей шлак в откосы, приходится прибавлять оборотный шлак. Роль шлака как посредника между кислородом пламени и примесями ванны почти уже выяснена, поверхность жидкого металла окисляется пламенем не так энергично, как поверхность шлака, а потому понятна причина замедления работы печи в случае, когда шлак почти не покрывает ванны. В особенности изменяется при этом период восстановительных реакций плавки, когда в нормальных условиях обедненный металлическими окислами шлак прикрывает и защищает ванну от окислительного воздействия пламени.

Поэтому о спуске шлака в данном случае говорить не приходится. Если же тем не менее в основном процессе сталевары находят непременно необходимым спустить шлаки, то они это делают за счет прибавляемой руды и ограничивают время спуска шлака первым периодом плавки. Спускается тогда чрезвычайно железистый шлак. Однако в таком спуске шлака при малосернистой шихте нет никакой необходимости.

2. Так как шлака при чистом скрап-процессе мало, руды не прибавляется совсем, то реакция между окислами железа шлака и углеродом ванны идет очень спокойно, и во время кипения ванна почти не поднимается. Этим скрап-процесс резко отличается от рудного процесса, где увеличение объема ванны во время кипения приобретает иногда характер бедствия. Спокойное течение операции дает возможность при устройстве печи для скрап-процесса делать *низкие откосы* и располагать пороги газовых окон над уровнем ванны гораздо ниже, чем при рудном процессе, когда ванна вздувается так, что может залить их пенистым шлаком.

Поднимая пороги газовых пролетов на 300 – 400 мм над уровнем спокойной ванны скрап-процесса мы совершенно гарантируем себя от всяких случайностей. Это же расстояние для рудного процесса приходится делать не менее 600—700 мм.

3. Характер работы печи при скрап-процессе отличается своей меньшей напряженностью. Работа печи скрап-процесса распадается на два периода: а) расплавление шихты, б) фришевание и нагревание ванны. Последний период есть бессемерование или томасирование на поду, во время которого ванна согревается реакциями окисления примесей. Поэтому скрап-процесс самый легкий для печи тип мартенования. Этот процесс может идти удовлетворительно даже на плохих сравнительно печах и при плохом ими управлении. Однако и тут заметна разница в практике разных заводов. В некоторых заводах скрап-процессом делают только две — две с половиной плавки в 24 часа и требуют в чугуне побольше C, Si, Mn и

даже Р. В других заводах делают четыре и более четырех плавок и просят чугун по возможности бедный примесями и белый. Разница между этими заводами та, что печи последних заводов работают горячее печей первых заводов.

При переходе этих заводов на рудный процесс на жидком чугуне вместо ускорения работы может быть замедление ее, и печь, работавшая более или менее сносно скрап-процессом, может оказаться совершенно неудовлетворительной для работы процессом рудным. Вот это и следует всегда иметь в виду при суждении о скрап-процессе и проектировании печей для рудного процесса.

ОСНОВНОЙ РУДНЫЙ ПРОЦЕСС НА ЖИДКОМ ДОМЕННОМ ЧУГУНЕ

Этим процессом производится почти вся мировая добыча железа. В самом деле, кислый мартеновский процесс, бессемерование, а в последние годы и томасирование постепенно, шаг за шагом, уступают свое место основному рудному процессу.

Для ведения рудного процесса применяются обыкновенные основные мартеновские печи, в которых нужно предусмотреть только увеличение объема ванны во время кипения красным пузырем в 2—3 1/2 раза.

Следовательно, пороги газовых окон надо сделать выше уровня ванны на 600—800 мм, чтобы пена шлака не залилась в пролеты; у окон надо предусмотреть необходимость устройства очень высоких ложных порогов. Затем печь должна быть конструирована на возможность наибольшей тепловой отдачи. Печь рудного процесса должна греть так, как ни в каком другом процессе, что видно из следующих уже знакомых нам положений.

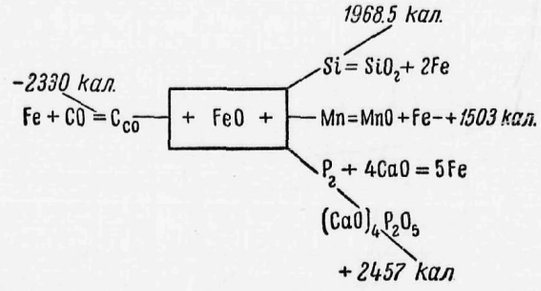
Общепринятая система работы рудным процессом на жидком доменном чугуне такова: в печь заваливаются весь идущий в плавку известняк и руда, которые можно слегка подогреть. Сильный нагрев не рекомендуется, ибо может вызвать слишком бурную реакцию в период окисления углерода. Во время подогрева известняк обращается в известь, руда выделяет влагу. Затем вливается сразу или частями доменный чугун, и происходит чрезвычайно быстрая реакция окисления всего кремния, почти всего марганца и значительной части фосфора (согласно схеме фиг. 3). Как показал наш расчет,[1] все эти примеси теряются чугуном, причем температура чугуна не поднимается ни на один градус. Если примесей, дающих тепло, много, то в этот период может окислиться за счет руды некоторое количество углерода, т. е. произойдет реакция, которая поглотит весь избыток тепла реакций окисления Si и Mn.

Итак, в результате этого первого периода работы рудным процессом мы получаем: чугун, почти не содержащий примесей, дающих тепло, и богатый окислами железа шлак. Дальнейшее окисление углерода чугуна кислородом окислов железа, растворенных в шлаке, всею тяжестью ложится на печь. Вся теплота, потребная на восстановление железа из шлака, дается печью, и только печью. Отсюда мы видим, что рудный процесс налагает на печь весьма трудную задачу: прогревать металл под толстым слоем шлака и давать ему столько тепла, чтобы окислить углерод ванны за счет кислорода окислов железа.

[1] При заливке чугуна в печь впервые реакции окисления Si и Mn идут почти без участия в реакции известняка, а потому для суждения о термичности этих реакций нужно придерживаться первого столбца цифр стр. 124. Второй же столбец стр. 124 надо применять в тех случаях, когда руда и флюс кидаются в кипящую ванну.

Эта задача несравненно труднее задачи печи при скрап-процессе, когда теплота окисления Si, Mn и P помогает пламени в нагреве ванны, а углерод ванны выгорает в своей большей части за счет кислорода пламени. Вот почему рудный процесс идет с успехом только в тех заводах, где печи хорошо греют.

Спрашивается, какой чугун более всего пригоден для рудного процесса? Желателен ли чугун, богатый Si, Mn или бедный ими, т. е. желателен ли серый чугун или белый? Химически горячий или холодный? Так как все реакции окисления холодной рудой Si, P, Mn идут почти с нулевым эффектом (табл. 6), то состав чугуна и его первоначальная температура для рудного процесса *безразличны*.



Фиг. 3. Диаграмма выгорания примесей при рудном процессе

Когда первый период реакции руды на Si, Mn и P кончится, то мы получим холодный чугун, содержащий почти один углерод, и слой железистого шлака над ним. Если Si, Mn и P было в чугуне мало, а руда и флюс подсаживались в небольшом количестве, то шлака будет немного. Если Si, Mn и P в доменном чугуне было много, то и шлака будет много. Итак, богатство доменного чугуна Si, Mn и P увеличивает только количество шлака, расход руды и известняка и ни на иоту не облегчает процесса. Но так как греть металл под толстым слоем шлака очень затруднительно, то для рудного процесса следует брать наиболее дешевый доменный чугун, содержащий Si и Mn не более того, что соответствует наилучшим условиям ведения доменной плавки.

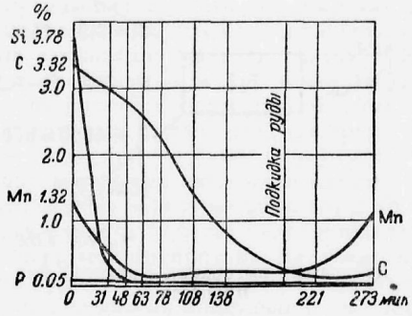
Что касается физической теплоты чугуна, то горячий доменный чугун ускорит несколько начало горения углерода и, следовательно, немножко ускорит и самый процесс; но большого значения начальная температура чугуна не имеет, а потому стылый чугун из миксеров без отопления, т. е. чугун, освободившийся в миксере от большей части бывшей в нем серы, весьма пригоден для рудного процесса.

Мы видели, какое значение для процессов бессемерования и томасирования имеет первоначальная температура чугуна. Для этих процессов физически горячий чугун есть залог успешности хода всего процесса, вот почему работа миксеров до крайности затруднена в заводах, работающих по способу Бессемера и Томаса. Этих затруднений не существует при рудном процессе. Вы можете давать в печь совершенно стылый чугун из миксеров. Продолжительность операции увеличится при этом минут на 15—20, и реакции взаимодействия чугуна с рудой пойдут сперва менее бурно.

Возможность работы рудным процессом на стылом (т. е. обедненном серой) чугуне представляет громадное преимущество рудного процесса *перед продувкой.*

Ход рудного процесса виден из табл. 7 и диаграммы фиг. 4, взятых у К. Дихмана.[1]

Вышеозначенная операция была проведена специально из очень кремнистого чугуна (3.78% Si), и она очень резко подчеркивает первый период окисления Si и Mn, после чего наступает период затишья окисления примесей. Окисление углерода начинается очень медленно, температура ванны при этом невысокая. Перелом от энергично идущей экзотермичной реакции окисления Si к эндотермичной реакции окисления углерода, наступивший примерно через 28 минут от начала плавки, прекрасно виден на диаграмме (фиг. 4).



Фиг. 4

Конечный шлак этой операции заключал всего 4.8% Fe и 6.25% Mn. Восстановление марганца из шлака указывает на очень горячий ход этой операции и на прекрасную работу печи; тем не менее, окисление углерода идет несравненно медленнее, чем горение Si.

Так оно, конечно, и должно быть. Всякая реакция с поглощением тепла идет постольку, поскольку получает тепло от печи.

В своей книге Дихман дает следующую таблицу производительности печи в час в зависимости от содержания Si в чугуне.

Si		
0.6%	4440 кг	стали
1.0%	4820 »	»
1.5%	4590 »	»
2.0%	4540 »	»
2.5—2.8 %	4490 »	»

Первая строка относится к белому чугуну не только химически, но и физически холодному, почему естественно некоторое замедление работы печи; остальные же строки указывают на явную тенденцию уменьшения производительности печи в зависимости от избытка содержания кремния, что вполне совпадает со сказанным ранее, что избыток Si, Mn и P, увеличивая количество шлака и не согревая ванны, только обременяет печь.

Для практиков рудного процесса весьма важно знать, как прибавлять руду — всю ли сразу, частями ли, нагревать сильно или слабо или даже ее расплавлять. Для решения этого вопроса надо сказать несколько слов

[1] Der basische Herdofenprozess, стр. 221—222.

Таблица 7

Плавка 1093 от 1/ II 1903

Посажено 16 213 кг жидкого чугуна, содержащего 3.78% Si
» 5 000 » руды, состоящей из 95% Fe_2O_3 и 5% SiO_2
» 1 500 » известкового камня
По истечении 221 минуты было присажено еще 80 кг руды

Время от начала, мин.	Металл, %				Шлак, %						Вычисленное количество шлаков в % от веса завалки	Примечание
	C	Si	P	Mn	Fe	FeO	Fe_2O_3	Mn	P_2O_5	SiO_2		
—	3.32	3.78	0.05	1.34	—	—	—	—	—	—	—	Чугун
31	2.98	0.75	0.01	0.45	28.31	30.85	6.87	3.96	0.38	34.00	24.6	Ванна горяча, реакция бурная, энергичная, шлак густой
48	2.88	0.19	0.01	0.28	26.04	30.24	3.60	4.17	0.52	29.15	33.3	Реакция так же энергична; на 58-й минуте шлак поднимается
63	2.67	0.05	0.01	0.17	23.52	27.62	2.91	4.24	0.64	28.60	35.3	Реакция очень бурная. На 73-й минуте ванна опускается, реакция слабеет
78	2.50	0.05	0.01	0.10	22.80	26.54	3.08	4.27	0.63	28.20	36.1	Реакция слабеет
108	1.85	0.02	0.01	0.21	16.32	18.82	2.40	4.66	0.66	30.00	34.9	Плавка холодна, прибавлено 600 кг известкового камня
138	0.50	0.02	0.01	0.17	10.20	12.03	1.20	4.87	0.64	32.00	33.5	Прибавлено 400 кг известкового камня. На 163-й минуте плавка холодна. Реакция прекратилась. На 173-й минуте ванна стала теплее. На 178-й минуте прибавлено 110 кг известкового камня, шлак жидкий, еще прибавлено 100 кг известкового камня. На 193-й минуте прибавлено 80 кг руды и 150 кг известкового камня
221	0.08	0.02	0.01	0.28	6.24	6.48	1.71	4.42	0.59	31.40	36.4	Плавка нагрета. 100 кг известкового камня, проба на ковка. Присажено 50 кг FeMn. На 253-й минуте проба хорошо куется, не красноломка. На 258-й минуте прибавлено 160 кг FeMn
273	0.09	0.02	0.01	1.02	4.80	4.94	1.37	6.25	0.47	30.40	38.9	Выпуск

о характере окисления углерода. При рассмотрении скрап-процесса мы видели, что окисление углерода начинается с периода пены, который переходит в период кипения красным пузырем и затем белым пузырем.

В рудном процессе наблюдаются те же три периода, но период пены иногда приобретает характер бедствия. Пена развивается с такой стремительностью, что заполняет всю печь и ее спускают через окна, чтобы она не ушла в регенераторы. Спущенный при этом шлак чрезвычайно богат железом и отправляется в доменную печь. Избегнуть этого бурного периода пены есть задача сталевара.

Практика показывает, что если первый период экзотермических реакций горения Si, Mn и P проходит за счет сильно нагретой руды, т. е. с выделением тепла, то под влиянием термического толчка, который дается ванне горением этих примесей, начинается горение углерода в то время, когда шлак еще холоден и густ. Вот это преждевременное окисление углерода и порождает выделение пены.

Если руда холодна, то вся теплота, выделяющаяся реакциями окисления Si, Mn и P, идет на нагревание руды и разложение известняка; углерод начинает гореть только под влиянием согревания ванны печью, когда теплота передается через шлак и шлак горячее металлической ванны. В этих условиях кипение ванны идет с чрезвычайной интенсивностью, но вследствие подвижности шлака пузыри окиси углерода легко лопаются и пены не наблюдается.

Поэтому общепринятый ныне метод работы рудным процессом состоит в работе на холодной или очень слабо нагретой руде, заваливаемой сразу. Из расчетов, приведенных на стр. 121—123, нам ясно, почему отвергнута система подсадки холодной руды и известняка во время хода операции,— потому, что такой метод работы обременяет печь очень большим расходом тепла, а следовательно, затягивает ход плавки.

Вопрос о составлении шихты при рудном процессе и о пригаре металла решается путем расчета.

СПОСОБ БРАТЬЕВ ГОРЯИНОВЫХ

Несомненно, что способ бр. Горяиновых был родоначальником рудного процесса, но бр. Горяиновым пришла идея рудного процесса в гораздо более сложном варианте, чем общепринятый ныне способ К. К. Дихмана.

Братья Горяиновы думали достигнуть наилучших результатов, если сплавить руду с известью и влить в получившийся шлак жидкий чугун.

Действительность вполне оправдала расчеты бр. Горяиновых, но реакция шла так бурно, что управлять ею не было никакой возможности. Кроме того, рудный процесс налагает на печь чрезвычайно тяжелую задачу нагрева ванны после первой необузданной реакции кипения, а печи бр. Горяиновых были плохой конструкции. В результате их способ не давал экономических выгод и был оставлен.

Невыгоды этого способа:

1) бурность начала кипения ванны,

2) громадная потеря времени на подготовку шлака,

3) потеря пая кислорода во время плавления Fe_2O_3, которая обращается при этом в Fe_3O_4.

Лабораторные исследования Е. Кольмейера [1] вполне подтвердили эти данные практики. Оказывается действительно, что Fe_2O_3 перед плавлением обращается в Fe_3O_4. Для того чтобы получить температуру плавления чистой Fe_2O_3, ее нагревали в струе кислорода, при этом температура плавления окиси железа оказалась равной 1565°, т. е. выше температуры плавления железа.

[1] Metallurgie, 6, 323, 1909.

Температура плавления Fe_3O_4 определена в 1527°. Конечно, температура плавления руды в смеси с CaO, [1] содержащей SiO_2, Al_2O_3, MgO и пр., хотя и в небольших количествах, много ниже 1527°, тем не менее, для образования этого шлака нужно в р е м я и все же высокая температура. В настоящее время способ Горяиновых совершенно оставлен. Но заслуга бр. Горяиновых тем не менее велика. Они показали, что реакция руды на чугун идет в высшей степени энергично и заставили других обратить внимание на руду, как на окислитель примесей чугуна.

ПРОЦЕСС ТИЛЬ — БЕРТРАНА И ЗАВОДА ГЕШ

Мы видели, что в конечном мартеновском шлаке $\Sigma\ (SiO_2 + P_2O_5)$ в среднем должна быть не более 25%; исходя из этой цифры, мы найдем, что одному проценту кремния в чугуне будут соответствовать 2.14% SiO_2 и 8.56% шлака; одному проценту фосфора будут соответствовать 2.3% P_2O_5 и 9.2% шлака. Из сказанного следует, что, например, при содержании в чугуне Si 1.5%, P 2% вес шлака будет равен:

$$8.56 \cdot 1.5 + 9.2 \cdot 2 = 31.24\%$$ веса металла.

Такое огромное количество шлака прикрывает зеркало ванны толстым слоем и делает прогрев ванны весьма затруднительным. Поэтому переработка грязных кливлендских чугунов или фосфористых томасовских рудным процессом крайне затруднительна; обилие фосфористого шлака загромождает печь и замедляет нагревание. Было необходимо так или иначе удалить излишек шлака. Эта задача была решена двумя германскими инженерами — Тилем и Бертраном.

Процесс окисления примесей рудой, как сказано выше, распадается на два периода: 1) период экзотермических реакций окисления Si, Mn и P, 2) период эндотермической реакции окисления окислами железа углерода. Огромное количество шлака дает именно первый период окисления, а потому, если выделить его из процесса, то этим путем можно будет избавиться от главной массы шлака. К тому же реакции окисления Si, Mn и P идут чрезвычайно быстро, а потому особых затруднений такое выделение не представляет.

На практике работа велась Тилем и Бертраном таким образом: весь процесс велся в двух печах; в первую печь присаживалось столько руды и известняка, сколько нужно, чтобы окислить и сфлюсовать весь Si, P и Mn, и затем вливался доменный чугун. Через 2 часа обыкновенно ванна состояла из почти чистого углеродистого железа и шлака, содержащего SiO_2, P_2O_5 и MnO, происшедшие от окисления Si, P и Mn. Ванна эта сильно прогревалась, чтобы обеднить шлак окислами железа; шлак получался предельной кислотности, 33—34% $\Sigma\ (P_2O_5 + SiO_2)$, но бедный FeO (около 6%); некоторая, очень небольшая, часть фосфора при этом оставалась в металле. Делали выпуск и металл переводили в другую печь, куда предварительно садили остальное количество руды и извести, а иногда и некоторое количество скрапа. Здесь образовывался *новый чистый шлак* и ванна кипела, освобождаясь от углерода. Химическая сторона процесса видна из таблиц анализов, взятых у Нобля (табл. 8 и 9).

[1] О плавкости ферратов кальция см. С. Г и л ь п е р т и Е. К о л ь м е й е р. ЖРМО, 1910, 177 и 554.

Таблица 8

Анализ плавки по Ноблю

№ плавок	Время взятия пробы	Периоды процессов	Состав металла, %					Состав шлака, %								Садка и добавки	Примечания
			C	P	Mn	Si	S	FeO	MnO	Al_2O_3	CaO	MgO	P_2O_5	S	SiO_2		
1465	12ч. 15м.	1-й	3.28	1.860	0.96	0.32	0.132	—	—	—	—	—	—	—	—	Садка: 73 280 кг чугуна 1880 » извести 3440 » шведской руды 700 кг окалины	Влит чугун
	1 » 10 »		2.47	0.590	0.17	сл.	0.102	—	—	—	—	—	—	—	—		
	1 » 30 »		1.90	0.470	0.22	»	0.098	10.25	5.03	1.36	44.56	4.32	22.85	0.069	12.20		
	1 » 40 »		1.65	0.370	0.22	»	0.098	7.06	4.96	1.38	45.48	4.00	22.36	0.124	11.80		
	2 » 30 »		1.46	0.260	0.34	»	0.082	4.67	3.93	1.60	48.86	4.00	22.13	0.138	11.40		
	3 » 00 »		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		Окончание 1-го периода
	3 » 50 »	2-й	0.385	0.090	0.29	сл.	0.100	19.64	13.49	3.17	33.64	6.92	6.25	0.110	14.20	Садка: 2180 кг шпатового железняка 5412 кг скрапа 1290 » извести Добавки: 105 кг окалины 160 » извести 205 » извести (4 ч. 55 м.) 200 кг FeMn	Влит металл
	4 » 10 »		0.205	0.050	0.23	»	0.089	15.78	12.08	3.00	35.78	6.70	6.70	0.165	15.40		
	4 » 30 »		0.090	0.045	0.26	»	0.090	15.83	8.88	2.32	43.88	6.00	5.50	0.289	13.20		
	4 » 45 »		0.075	0.035	0.26	»	0.080	14.13	10.19	2.21	43.79	6.10	5.57	0.206	14.20		
	5 » 05 »		0.058	0.035	0.27	»	0.078	16.23	8.32	2.20	45.30	5.90	5.55	0.275	14.00		
	5 » 10 »		0.045	0.030	0.25	»	0.077	17.20	7.67	2.00	46.19	6.12	5.15	0.316	13.10		
	5 » 15 »		0.080	0.040	0.47	»	0.067	17.03	10.25	1.90	46.28	5.92	5.00	0.344	12.40		Выпуск

Таблица 9

Анализ плавки по Ноблю

№ плавок	Время взятия пробы	Периоды процессов	Состав металла, %					Состав шлака, %								Садка и добавки	Примечания
			C	P	Mn	Si	S	FeO	MnO	Al_2O_3	CaO	MgO	P_2O_5	S	SiO_2		
5311	6 ч. 45 м.	1-й	3.180	1.85	1.52	0.60	0.104	—	—	—	—	—	—	—	—	Садка: 3240 кг шведской руды 960 » окалины 1200 » извести 21450 » чугуна	Окончание 1-го периода
	7 » 15 »		2.920	0.68	0.23	следы	0.054	21.43	11.61	0.53	27.09	5.01	24.44	0.28	9.00		
	7 » 45 »		2.240	0.37	0.20	»	0.068	9.19	9.45	0.50	37.38	5.01	26.22	0.33	10.40		
	8 » 10 »		1.850	0.30	0.32	»	0.056	6.08	7.86	0.46	42.66	5.04	24.86	0.35	10.80		
	8 » 20 »		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
	8 » 38 »		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	Садка: 8 400 кг скрапа	
	9 » 55 »		0.493	0.08	0.18	следы	0.075	31.90	11.98	1.80	29.67	6.40	8.88	0.13	10.80	500 » окалины 1 500 » шпат. руды 1 000 » извести	Влит металл
	10 » 20 »	2-й	0.260	0.03	0.18	»	0.071	36.35	10.20	1.30	29.44	5.29	6.13	0.41	10.80		
	11 » 00 »		0.210	0.04	0.26	»	0.064	14.86	10.62	1.60	43.08	6.56	9.86	0.34	12.90		
	11 » 15 »		0.105	0.05	0.25	»	0.068	14.32	9.51	2.27	44.46	6.16	9.93	0.63	12.60	Добавки: 112 кг испанской руды 105 » извести 124 » извести 200 » FeMn	
	11 » 25 »		0.043	0.03	0.24	»	0.065	17.29	9.09	2.76	43.72	5.80	8.88	0.19	11.39		
	11 » 30 »		0.055	0.03	0.23	»	0.078	17.29	8.71	2.02	43.72	5.02	8.64	0.32	12.00		
	11 » 40 »		0.095	0.03	0.48	»	0.073	17.29	9.36	2.46	44.46	6.56	7.84	0.47	11.40		Выпуск

Таблица 10

Расход металлов за год работы мартеновских печей завода Геш

Вес металлов, кг							
томасовский чугун	гематит	зеркальный	ферроманган	ферросилиций	лом чугунный	стальной скрап	всего
36 209 647	4 600	120 950	404 848	7 080	83 800	11 631 695	48 462 620
36 214 247							
74.72%		0.25%	0.84%	0.02%	0.17%	24%	100%

Таблица 11

Производительность завода Геш

Выход		Металлической садки на 1 т годных слитков, кг	Число плавок на 1 день	Годных слитков на 1 плавку, кг
годных слитков, кг	% от веса садки			
50 605 965	104.42	957.67	2.02	29 577

Рассмотрение таблиц показывает, что выгорание фосфора в мартеновском процессе отличается от выгорания P при томасировании. В то время как в томасовском процессе P горит последним, в мартеновском процессе он горит, как только появится богатый известью шлак, способный связать P_2O_5 в $(CaO)_4P_2O_5$.

Расход материа

Наименование	Расход, кг	На 1 т годных слитков, кг	
Руда и окалина	11 010 565	217.5	Шлак 1-го периода идет на приготовление фосфатов: 6376 т с 20—25% P_2O_5, или 126 кг на 1 т годных слитков
Кокс	177 030	3.0	
Известь	4 749 275	94.0	
Генераторный уголь	12 550 672	248.0	
Основные материалы	1 951 920	39.0	
Кирпич обыкновенный огнеупорный	164 858	3.0	
Шамотные кирпичи	422 506	8.0	
Динасовые »	942 321	19.0	
Фасонные »	229 977	4.0	
Кирпичи для дымоходов	270 882	5.0	Шлак 2-го периода идет на переплавку в доменной печи: 7439 т, или 147 кг на 1 т годных слитков
Магнезитовые кирпичи	46 089	1.0	
Кирпичи для регенераторов	126 877	2.0	
Масса для футеровки ковшей	402 827	7.0	
Песок	277 444	5.0	

В плавке[1] 1465 надо обратить внимание на $\Sigma\ (SiO_2 + P_2O_5)$ шлака первого периода, равную 33.53%, на $\Sigma\ (FeO + MnO)$, равную 8.6%, на

[1] F. Springorum. Опытное исследование мартеновского процесса — способа завода Hoesch, Metallurgie, 129, 1916; также ЖРМО, 2, 593, 1910.

содержание P в металле (0.26%), как следствие кислотности шлака, и на восстановление марганца в металле, свидетельствующее о весьма высокой температуре печи, благодаря чему содержание углерода в первой печи понизилось с 3.28 д 1.46%. Второй период в другой печи протекает при сравнительно невысокой температуре, на что указывает богатство окислами конечного шлака, $\Sigma\ (MnO + FeO)$ равна 27.28%, и отсутствие процесса восстановления марганца в металле, обычного при горячем конце плавки.

Десульфурация чугуна, благодаря смене шлака, оказалась довольно совершенная. Количество серы упало с 0.132 до 0.067%.

О плавке 5311 нужно сказать то же самое, что и о плавке 1465.

Шлаки первого периода процесса Тиль — Бертрана оказываются настолько богатыми P_2O_5 (до 25%), что идут на удобрение. Шлаки второго периода возвращаются в доменные печи для извлечения Fe и Mn.

Однако работа по способу Тиль—Бертрана в двух печах оказалась очень неудобной. Было очень трудно регулировать ход печей так, чтобы они шли с одинаковой скоростью; ремонты их часто не совпадали, и это очень понижало их производительность. К этому присоединялась еще нижеследующая невзгода: в печи № 1, работавшей постоянно первым периодом, температура была ниже, чем в № 2, и *под рос, а в № 2 под разъедало*. Растущую подину приходится постоянно *травить*, разъеденную — *заправлять*, что требует большой затраты времени. Поэтому способ Тиль—Бертрана был видоизменен заводом Геш. Работу стали вести

Таблица 12

лов завода Геш

Средний состав материалов:			
томасовского чугуна из миксера: 3.0% C, 1.82% P, 1.05% Mn, 0.41% Si, 0.084% S			
металла в конце 1-го периода: 1.95% C, 0.15% P, 0.36% Mn, следы Si, 0.07% S			
Шлака 1-го периода, %		Шлака 2-го периода, %	
Fe 4.63	SiO_2 . . . . 11.00	Fe 14.10	SiO_2 . . . . 13.20
Mn 4.76	Al_2O_3 . . . . 2.10	Mn 8.54	Al_2O_3 . . . . 2.99
CaO 41.91	MgO 7.20	CaO 40.13	MgO 7.50
P_2O_5 . . . . 24.93	S 0.36	P_2O_5 . . . . 7.47	S 0.44

Мягкой стали: 0.07% C, 0,02% P, 0.44% Mn, 0.055% S				
	Окалина	Шпат. руда	Шведская руда	Миннет
Fe	72.34	47.18	63.7	34.98
Mn	0.57	8.21	0.2	0.28
P	0.02	0.06	1.5	0.70

в одной печи, но после первого периода плавку выпускали в ковш. В ковше шлак отделялся от металла, в это время отверстие печи заделывали и металл возвращали опять в печь, в которой заводили второй шлак, и кончали плавку. Работа печи по способу Геш видна из табл. 10, 11 и 12.

ПРИМЕЧАНИЕ РЕДАКТОРА

Приведенная работа представляет собой выдержки из книги «Производство стали», написанной В. Е. Грум-Гржимайло в период чтения лекций по металлургии стали в 1907—1918 гг. Первое литографированное издание вышло в 1917 г., оно было пересмотрено автором и в 1925 г. впервые было напечатано типографским способом. После его смерти вышли два издания, не отличающиеся от первого.

Не перепечатывая всей книги, представляющей развернутое приложение законов физической химии к стальной ванне, мы включили в настоящий сборник основные главы, в которых изложен взгляд В. Е. на процессы, происходящие при варке стали.

В настоящее время его работы должны рассматриваться с двух точек зрения: во-первых, несомненно, что понимание и объяснение процессов, происходящих в стальной ванне, данное В. Е., правильно. Правильность этого учения подтверждена в течение более чем 30-летнего периода, прошедшего со времени его создания (1910—1915 гг.); в течение всех этих лет учение В. Е. прилагалось к практике русского сталеварения. Второй вопрос остается до сих пор открытым — принцип Вант-Гоффа — Ле-Шателье дан для равновесной системы, системы, в которой реакции закончились, температура установилась, парциальные давления, концентрации неизменны. Стальная ванна является системой, находящейся в подвижном химическом равновесии. Это система, в которой реакции идут очень энергично, система, которая получает или теряет тепло, система, которая непрерывно меняет свой химический состав, непрерывно приближается или удаляется от своей точки замерзания. Чтобы приложить принцип Вант-Гоффа — Ле-Шателье к такой системе, В. Е. пришлось расширить и развить его для случая, когда система находится не в покое, а в движении (как говорят механики), приложить его к «равновесной системе, находящейся в динамическом состоянии переменного химического состава и повышения температуры отвердевания ванны».

Он сделал этот шаг вперед, развив далее мысль Ле-Шателье. Проследим это, выписав несколько формулировок принципа Ле-Шателье — Вант-Гоффа, в приложении к теории сталеварения:

Общая формулировка этого закона:

«В химически равновесной системе при изменении одного из факторов, обусловливающих равновесие, возникают превращения с таким эффектом, что если бы они возникли самостоятельно, то вызвали бы изменение этого фактора в обратном направлении».

Частная формулировка для стальной ванны:

«Ванна холодная нуждается в тепле — идут реакции, выделяющие тепло; ванна перегрета — идут реакции с наименьшим тепловым эффектом».

Далее идут формулировки, представляющие развитие этого принципа В. Е.:

«Всякое приближение состояния стальной ванны к условиям, при которых образуется твердая металлическая фаза, равносильно ее охлаждению, и наоборот — удаление ее состояния от этих условий — равносильно ее нагреванию».

В число факторов равновесной системы В. Е. ввел новый фактор — приближение системы к образованию твердой фазы, не учитывавшийся ранее, но вызывающий эффекты, не меньшие, чем изменение температуры, изменение концентрации и пр. В стальной ванне этот фактор является доминирующим, и весь процесс варки стали идет в разрезе приближения и удаления от точки замерзания. Ванна, теряющая углерод, может получать тепло, но если этого тепла нехватает для поддержания ванны в жидком состоянии, нехватает для того, чтобы нагреть ванну выше новой точки плавления обезуглероженной стали, такая ванна является стынущей, несмотря на то, что количество тепла в ней увеличивается и температура ее растет. В такой ванне, согласно учению В. Е. и принципу Ле-Шателье — Вант-Гоффа, идут реакции, выделяющие тепло. Если же мы не примем во внимание близости точки замерзания, то мы придем к выводу, что в ванне идут реакции, поглощающие тепло,— что неверно.

Итак, мы стоим сейчас перед фактом, что В. Е., развивая и прилагая принцип Ле-Шателье — Вант-Гоффа к стальной ванне, расширил его и дал свой дополняющий принцип, который, назвав его именем, можно сформулировать так:

Воздействие на равновесную химико-термодинамическую систему, если оно приводит к смещению близлежащей точки агрегатного перехода, вызывает в системе такие же реакции, какие вызвало бы изменение соответствующего термодинамического фактора в направлении, обратном смещению этой точки.

К сожалению, излагая теорию производства стали, В. Е. сам не дал своей формулировки принципа и не подчеркнул тот шаг вперед, который он сделал в этом вопросе. Это и заставило нас сейчас повторить все его формулировки и одновременно сделать попытку дать новую формулировку принципа, недостающую у В. Е.

Для того, чтобы ярче выявить глубину взглядов В. Е. на это дело, приведем выдержку из его письма, написанного во время одного научного спора.

«... Представьте, что я играю с мальчиком в мяч. Мы так хорошо усвоили себе законы инерции и свободного падения тел Ньютона, что безошибочно бросаем мяч

друг другу в руки. Затем мы пересели в вагон курьерского поезда и во время хода поезда продолжаем так же ловко бросать мячик друг другу в руки.

Но вот мальчик вышел из вагона, встал у полотна железной дороги и предложил мне бросить ему в руки мячик на полном ходу поезда. Скандал. Я делаю ошибку, и мяч пролетает в нескольких аршинах от мальчика. Что случилось? Неужели я забыл законы Ньютона? Нет, я их твердо помню, но я забыл о скорости движения мячика и моих рук, бросивших мяч, и не ввел коррективв эти законы для этого случая.

Теперь перейдем к закону Ле-Шателье. Когда его излагает А. А. Байков, оппонент его понимает. Когда этот закон излагаю я, тоже понимает, даже одобряет его изложение, находя его верным. Когда же я применяю его к стальной ванне мартеновской печи или реторты, с ним не может примириться. По его мнению, я искажаю смысл этого закона, от которого после моей перефразировки не осталось живого места. Зачем какая-то перефразировка? «Применяй закон так, как он написан»,— говорит оппонент. Зачем вводить какие-то коррективы в закон инерции и свободного падения Ньютона, когда ты бросаешь мяч из окна мальчику у переезда? Бросай его так, как ты бросал, когда играл дома или на ходу поезда в вагоне.

Но, конечно, дорогие читатели, мы совету оппонента не последуем. Законы Ньютона мы не забудем, они останутся незыблемы, а коррективв на скорость движения поезда мы в этом случае введем и попадем мячом в руки мальчика. То же и с применением закона Ле-Шателье к стальной ванне, которая в термическом отношении представляет случай, совершенно аналогичный мчащемуся поезду.

Химический состав этой ванны, находящейся в состоянии подвижного равновесия, ежесекундно и непрерывно меняется от чугуна до химически чистого железа. Меняется и температура отвердевания ванны, от 1150 до 1500°. Ванна поэтому, для поддержания ее в жидком виде, должна непрерывно нагреваться. Это нагревание, однако, заметно только для наблюдателя, находящегося *вне* ванны. Но нагревание это совершенно незаметно для молекулы железа, находящегося внутри ее, так же, как пассажиру поезда, в нем сидящему, незаметна скорость поезда. И тогда, когда молекула была окружена молекулами примесей при 1150°, и тогда, когда примеси исчезли, и она находится среди своих собратий при температуре 1500°, эта молекула находилась и находится накануне отвердевания. Несмотря на колоссальную разницу температур, физическое состояние молекулы не меняется. Она находится в таком же *термическом* покое, как пассажир курьерского поезда в вагоне, несмотря на его бешеную скорость. Из этого термического покоя молекула выводится только тогда, когда *сверх* установленной изменением состава ванны нормы приращения тепла, она получает *дополнительное* приращение тепла, положительное или отрицательное. Совершенно то же делается с пассажиром в вагоне. Его покой нарушается, если он будет передвинут по вагону вперед, т. е. скорее поезда, или назад, т. е. тише поезда, но не тогда, когда он неподвижен в вагоне.

Итак, если молекула железа сверх обязательного приращения тепла, обусловленного изменением химического состава ванны, получает избыточное количество тепла, то мы получим ванну перегретую; если молекула получает меньше обязательного количества тепла, то мы получим стынущую ванну. В первом случае ванна не нуждается в тепле, во втором — она нуждается в тепле, чтобы не замерзнуть.

Таким образом, процесс непрерывного нагревания ванны от температуры плавления чугуна до температуры плавления железа может итти по трем путям:

1) ванна получает столько тепла, сколько ей надо; 2) ванна получает больше того, что ей надо; 3) ванна не получает того, что ей надо.

Первая ванна — нормальная, вторая — перегретая, третья — стынущая.

По Ле-Шателье первая ванна есть система, сохраняющая свою температуру, вторая — система нагреваемая и третья — система охлаждаемая.

Вот та поправка на скорость движения поезда, которую надо ввести, чтобы бросить мяч в руки мальчику, та поправка к изложенному закону Ле-Шателье, чтобы дать сталевару правильную идею о состоянии ванны.

Вводя эту поправку в редакцию закона Ле-Шателье, я не извращаю его сущности, не искажаю его смысла, а развиваю мысль Ле-Шателье дальше, прилагая ее к равновесной системе, находящейся в динамическом состоянии переменного химического состава и повышения температуры отвердевания ванны. Все, что я излагаю здесь, есть элементарное приложение ньютоновского принципа относительности к пониманию физического состояния реакций производства стали.

В этом отличие моего курса от других и, смею думать, моя заслуга как металлурга.

Только усвоив понятие «ванны перегретой», «ванны стылой», усвоив закон Ле-Шателье, что в перегретой ванне идут реакции с поглощением тепла, а в стылой — с выделением тепла, сталевар получает почву под ногами и понимает, что делается у него в печи. Этими определениями ванны, этой перефразировкой закона Ле-Шателье я

1) не извратил закон, 2) поставил сталевара на твердую почву в его деле».

ТЕОРИЯ И КОНСТРУКЦИЯ СУШИЛ

Глава I

ТЕОРИЯ СУШКИ

Быстрая и равномерная сушка легко осуществляется, когда подвергающиеся сушке предметы совершенно равномерно омываются потоком сухого теплого воздуха. Это возможно только в том случае, когда потоку теплого легкого воздуха будет дано нисходящее направление, остывший же тяжелый влажный воздух будет удаляться снизу в дымовую трубу.

Если взять совершенно сухой воздух и той же температуры влажный воздух, то мы увидим, что влажный воздух легче сухого. Поэтому в сушильных приборах воздух, вступающий в сушило и скопляющийся под его потолком, должен быть более высокой температуры, чем воздух, собирающийся у пода сушила и удаляемый в дымовую трубу. Соотношение температур воздуха, вступающего и покидающего сушило, или температур под потолком и у пода сушила нетрудно найти из сравнения весов сухого и влажного воздуха (табл. 1).

Последние две колонки табл. 1 дают нам соотношение температур сухого и влажного воздуха, когда веса 1 м³ их одинаковы. Влажность сырого воздуха взята в 100%. При меньшей влажности воздух той же температуры будет тяжелее, чем при влажности в 100%.

В руководствах по сушке продуктов сельского хозяйства, дерева и проч. материалов обыкновенно указывается максимальная температура сушки, когда продукт начинает портиться. Если принять эту температуру вступающего в сушило теплого воздуха или температуру у потолка сушила, то по кривой (фиг. 1) нетрудно найти температуру воздуха при 100% влажности и вес 1 м³ его. Таким образом, мы найдем температуру у пода сушила или температуру влажного воздуха, покидающего сушило. Если насыщение воздуха влажностью меньше 100%, то такой полусырой воздух при этой температуре тяжелее воздуха, достигшего полной влажности, и, следовательно, тоже опустится на под сушила и не нарушит правильности его работы.

Вот некоторые, взятые из руководств температуры сушки и найденные указанным путем температуры воздуха вступающего t_{max} и покидающего t_{min} сушило (табл. 2, фиг. 2).

Таким образом, мы находим верхний предел температур внутри сушила. Нам предстоит решить вопрос о наивыгоднейшей температуре сушки.

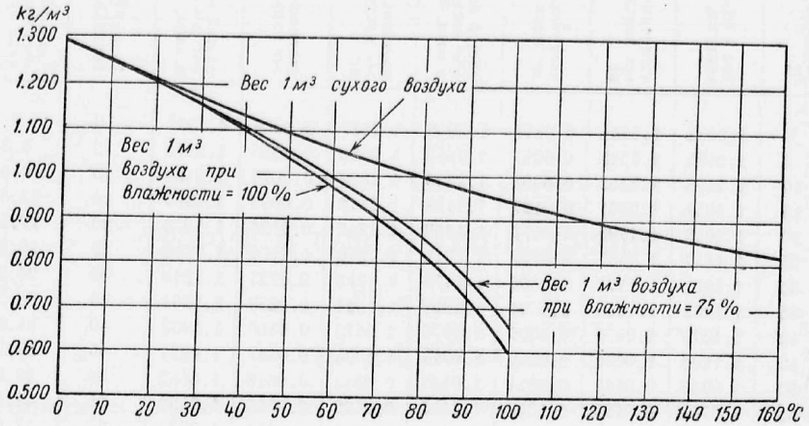
Таблица 1

Температура, °Ц	Вес 1 м³ сухого воздуха, кг	Влажность 100%			Влажность 75%			t max сухого воздуха, °Ц	t min равного веса влажн. воздуха при 100%, °Ц
		частичный вес воздуха, кг	частичный вес пара, кг	общий вес 1 м³ воздуха и пара, кг	частичный вес воздуха, кг	частичный вес пара, кг	общий вес 1 м³ воздуха и пара, кг		
0	1.2932	1.2861	0.0048	1.2909	1.2887	0.0036	1.2923	0	0
5	1.2699	1.2598	0.0067	1.2665	1.2623	0.0050	1.2673	5	4.3
10	1.2475	1.2332	0.0093	1.2425	1.2368	0.0070	1.2438	10	9.0
15	1.2258	1.2061	0.0127	1.2188	1.2112	0.0095	1.2207	15	13.5
20	1.2049	1.1780	0.0170	1.1950	1.1847	0.0128	1.1975	20	17.9
25	1.1847	1.1487	0.0227	1.1714	1.1576	0.0170	1.1746	25	22.2
30	1.1651	1.1174	0.0300	1.1474	1.1288	0.0225	1.1513	30	26.3
35	1.1462	1.0838	0.0391	1.1229	1.1001	0.0293	1.1294	35	30.2
40	1.1279	1.0470	0.0506	1.0976	1.0673	0.0380	1.1053	40	34.0
45	1.1102	1.0065	0.0649	1.0714	1.0334	0.0487	1.0821	45	37.5
50	1.0930	0.9613	0.0824	1.0437	0.9944	0.0618	1.0562	50	40.8
55	1.0763	0.9105	0.1040	1.0145	0.9622	0.0780	1.0402	55	44.1
60	1.0601	0.8531	0.1300	0.9831	0.9031	0.0975	1.0006	60	47.0
65	1.0445	0.7880	0.1610	0.9490	0.8505	0.1208	0.9713	65	49.9
70	1.0292	0.7140	0.1980	0.9120	0.7919	0.1485	0.9404	70	52.5
75	1.0144	0.6298	0.2430	0.8728	0.7227	0.1823	0.9050	75	55.0
80	1.0001	0.5340	0.2940	0.8280	0.6649	0.2205	0.8854	80	57.3
85	0.9861	0.4245	0.3540	0.7785	0.5583	0.2655	0.8238	85	59.5
90	0.9725	0.3003	0.4250	0.7253	0.4597	0.3188	0.7785	90	61.6
95	0.9593	0.1595	0.5070	0.6665	0.3473	0.3803	0.7276	95	63.5
100	0.9464	0.0000	0.6020	0.6020	0.2345	0.4515	0.6860	100	65.3
105	0.9339	—	—	—	—	—	—	105	67.0
110	0.9217	—	—	—	—	—	—	110	68.7
115	0.9099	—	—	—	—	—	—	115	70.3
120	0.8983	—	—	—	—	—	—	120	71.7
125	0.8870	—	—	—	—	—	—	125	73.2
130	0.8760	—	—	—	—	—	—	130	74.6
135	0.8653	—	—	—	—	—	—	135	75.8
140	0.8548	—	—	—	—	—	—	140	77.0
145	0.8446	—	—	—	—	—	—	145	78.1
150	0.8346	—	—	—	—	—	—	150	79.3
155	0.8248	—	—	—	—	—	—	155	80.3
160	0.8153	—	—	—	—	—	—	160	81.3

Таблица 2

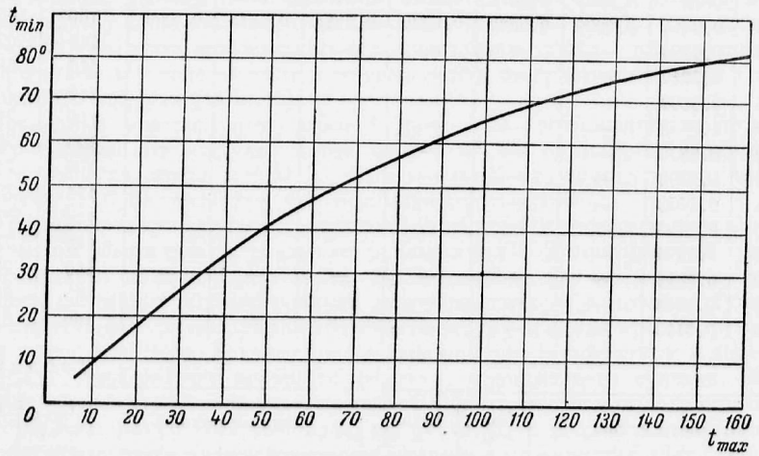
Предметы сушки	t_{max}, °Ц	t_{min}, °Ц	Предметы сушки	t_{max}, °Ц	t_{min}, °Ц
Дрова	160	81.3	Кожа хром	60	47.0
Мелкий лес	90	61.6	» юфти	35	30.2
Крупный лес	50	40.8	» подошвенная	25	22.2
Столярный лес	40	34.0	Картофель и овощи	90	61.6
Хлеб на помол	75	55.0	Крахмал	50	40.8
» на посев	55	44.1			

Назовем соотношение между количеством тепла в паре влажного воздуха ко всему количеству тепла во влажном воздухе — коэффициентом полезного действия сушки. Это будет величина, несколько большая коэф-



Фиг. 1

фициента полезного действия сушила, ибо не приняты в расчет расход на нагрев сушимого предмета до температуры сушки и лучеиспускание стен сушила.



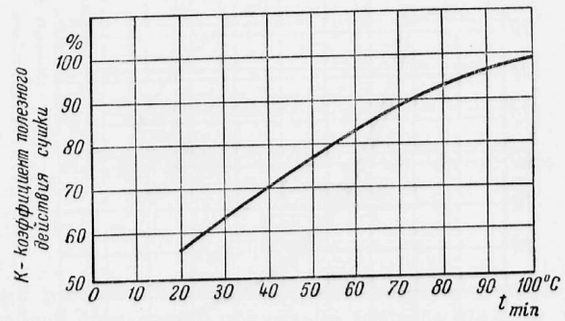
Фиг. 2

Табл. 3 (фиг. 3), вычисленная для случая 75% влажности, дает нам совершенно определенный ответ на поставленный вопрос. Полезный коэффициент сушки тем выше, чем выше температура воздуха, покидающего сушило, при условии возможного насыщения воздуха влагой, конечно.

Таблица 3

t_{min}, °Ц	Частичный вес сухого воздуха в 1 м³ влажного воздуха при 75%, кг	Частичный вес пара в 1 м³ при влажности 75%, кг	Влагоемкость 1 кг сухого воздуха, кг	Теплота в 1 кг пара, кал	Количество тепла в паре, кал	Количество тепла в 1 кг сухого воздуха, кал	Сумма теплот пара и воздуха, кал	Коэфф. полезн. действия сушки, %
20	1.1847	0.0128	0.0108	612.60	6.20	4.75	10.95	56
25	1.1576	0.0170	0.0147	614.12	9.03	5.94	14.97	60
30	1.1288	0.0225	0.0199	615.65	12.24	7.12	19.36	63
35	1.1001	0.0293	0.0266	617.17	16.41	8.30	24.71	67
40	1.0673	0.0380	0.0356	618.70	22.02	9.50	31.52	70
45	1.0334	0.0487	0.0470	620.22	29.30	10.63	39.93	74
50	0.9944	0.0618	0.0621	621.75	38.6	11.9	50.5	77
55	0.9622	0.0780	0.0810	623.27	50.8	13.1	63.9	80
60	0.9031	0.0975	0.1080	624.80	67.5	14.2	81.7	82.5
65	0.8505	0.1208	0.1420	626.32	87.9	15.4	103.3	85.0
70	0.7919	0.1485	0.1875	627.85	118.0	16.6	134.6	87.5
75	0.7227	0.1823	0.2522	629.37	158.6	17.8	176.4	89.5
80	0.6649	0.2205	0.3331	630.90	209	19.0	228	91.5
85	0.5583	0.2655	0.4756	632.42	301	20	321	93.5
90	0.4597	0.3188	0.6934	633.95	440	21	461	95.0
95	0.3473	0.3803	1.0950	635.47	696	23	719	96.5
100	0.2345	0.4515	1.9266	637.00	1249	24	1273	98.0

Такое парадоксальное решение этого вопроса происходит вследствие весьма быстрого увеличения влагоемкости сухого воздуха с повышением температуры (столбец 4 табл. 3).



Фиг. 3

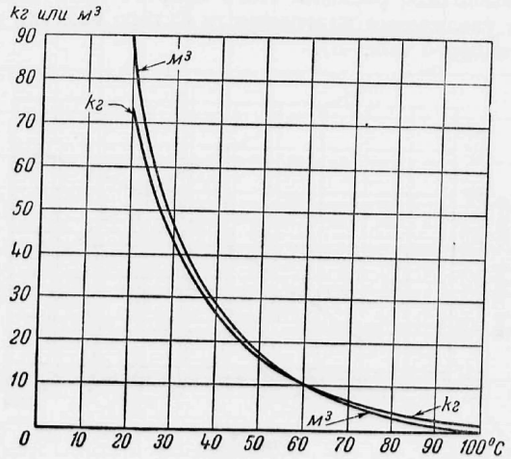
Руководствуясь табл. 3, мы можем вычислить табл. 4 и определить количество:

а) сухого воздуха, которое при данной температуре надо ввести в сушило (в килограммах) для того, чтобы вынести 1 кг паров воды при влажности отработавшего воздуха 75%;

б) количество (в кубических метрах) влажного воздуха, которое надо удалить из сушила, чтобы исполнить нужную работу при тех же условиях (табл. 4, фиг. 4).

Таблица 4

°Ц	Частичный вес сухого воздуха в 1 м³ влажного воздуха при 75% влажности, кг	Частичный вес пара в 1 м³ влажного воздуха при 75% влажности, кг	Влагоемкость 1 кг сухого воздуха при 75% влажности, кг	Число кг сухого воздуха, выносящее 1 кг пара при 75% влажности	Число м³ влажного воздуха, нужное для удаления 1 кг пара при 75% влажности
20	1.1847	0.0128	0.0108	92.6	78.1
25	1.1576	0.0170	0.0147	68.0	58.8
30	1.1288	0.0225	0.0199	50.3	44.4
35	1.1001	0.0293	0.0266	37.6	34.1
40	1.0673	0.0380	0.0356	28.1	26.3
45	1.0334	0.0487	0.0470	21.3	20.5
50	0.9944	0.0618	0.0621	16.1	16.0
55	0.9622	0.0780	0.0810	12.3	12.8
60	0.9031	0.0975	0.1080	9.3	10.3
65	0.8505	0.1208	0.1420	7.0	8.3
70	0.7919	0.1485	0.1875	5.3	6.8
75	0.7227	0.1823	0.2522	4.0	5.5
80	0.6649	0.2205	0.3331	3.0	4.5
85	0.5583	0.2655	0.4756	2.1	3.8
90	0.4597	0.3188	0.6934	1.4	3.2
95	0.3473	0.3803	1.0950	0.9	2.6
100	0.2345	0.4515	1.9266	0.4	2.2



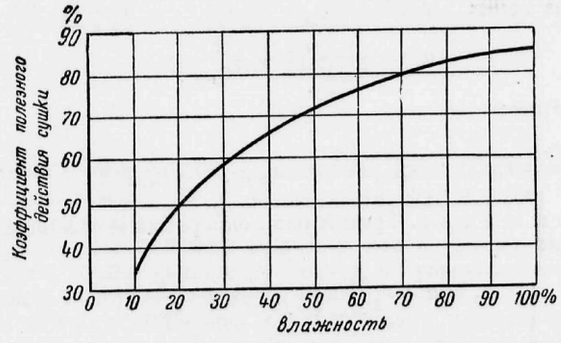
Фиг. 4

Само собой понятно, что коэффициент полезного действия сушки тем выше, чем больше степень влажности отработавшего воздуха. Вычислим зависимость коэффициента полезного действия сушки от степени влажности отработавшего воздуха при 55°. Получим табл. 5 (фиг. 5).

Таблица 5

Относительная влажность К отработавшего воздуха, %	Частичный вес сухого воздуха при 55° и влажности К, кг/м³	Частичный вес пара в 1 м³ влажного воздуха при 55° Ц, кг/м³	Влагоемкость сухого воздуха или число кг пара на 1 кг сухого воздуха	Тепло, уносимое паром, кал	Тепло, уносимое 1 кг сухого воздуха, кал	Тепло, уносимое влажным воздухом, кал	Коэфф. полезного действия сушки, %
10	1.0596	0.0104	0.0098	6.1	13.1	19.2	32.0
20	1.0429	0.0208	0.0199	12.4	13.1	25.5	48.5
30	1.0263	0.0312	0.0304	18.9	13.1	32.0	59.0
40	1.0095	0.0416	0.0412	25.7	13.1	38.8	66.2
50	0.9929	0.0520	0.0523	32.6	13.1	45.7	71.2
60	0.9762	0.0624	0.0638	39.6	13.1	52.7	75.4
70	0.9595	0.0728	0.0760	47.5	13.1	60.6	78.5
80	0.9428	0.0832	0.0884	55.2	13.1	68.3	81.3
90	0.9261	0.0936	0.1010	63.0	13.1	76.1	82.7
100	0.9105	0.1040	0.1141	71.1	13.1	84.2	84.6

Из этой таблицы следует, что сушить выгоднее при полном 100%-ном насыщении парами воды отработавшего воздуха. Практика, однако, показывает, что это невозможно. При местном понижении температуры в некоторых уголках сушила ниже точки росы сушимый продукт в этих местах «распаривается» и теряет свои качества.



Фиг. 5

Вот почему насыщение отработавшего воздуха выше 75% не желательно, и в табл. 3 совершенно правильно взята именно эта влажность.

Итак, рассмотрение таблиц 1 и 2 дает нам температуру отработавшего воздуха, 3 — коэффициент полезного действия сушки, 4 — основы для расчета нагнетательного или всасывающего вентилятора или другого прибора, например дымовой трубы.

В столбце 6 табл. 3 помещено количество тепла пара в 1 кг воздуха при различных температурах. Прибавив расход теплоты на лучеиспускание и на нагрев сушимого материала, мы получим данные для расчета топочных устройств.

Перейдем теперь к расчету внутренних размеров сушильной камеры и циркуляции потоков теплого воздуха вокруг отопительных устройств и сушимых предметов.

Обозначим температуру *входящего сухого воздуха или максимальную* температуру сушки t_{max};

температуру отработавшего сухого воздуха t_{min};

скрытую теплоту испарения:

$$\left.\begin{array}{l}\text{при } t_{max} - \lambda_{max}\\ \text{при } t_{min} - \lambda_{min}\end{array}\right| \lambda_{max} - \lambda_{min} = b;\ ^1$$

количество тепла, выделяемое воздухом и паром при охлаждении с t_{max} до $t_{min} - \theta_1$, θ_2, θ_3...;

количество испаренной при каждом подогреве воды — q_1, q_2, q_3,....;

теплоемкость воздуха 0.2375.

Далее обозначим $q_1 + q_2 + q_3 + \ldots = Q$ = влажности воздуха при 75% насыщения и t_{min}.

1-е насыщение. Теплый воздух, охлаждающийся от t_{max} до t_{min}, выделит тепла:

$$\theta_1 = (t_{max} - t_{min}) \cdot 0.2375 = a \text{ кал.}$$

Этим теплом он испарит влажности: $q_1 = \frac{a}{\lambda_{min}}$

2-е насыщение. Вторично подогретый и остуженный воздух выделит тепла:

$$\theta_2 = a + \frac{a}{\lambda_{min}}(\lambda_{max} - \lambda_{min}) = a + \frac{ab}{\lambda_{min}} = a\left(1 + \frac{b}{\lambda_{min}}\right).$$

Он испарит воды:

$$q_2 = \frac{a}{\lambda_{min}}\left(1 + \frac{b}{\lambda_{min}}\right).$$

Всего воды в нем:

$$q_1 + q_2 = \frac{a}{\lambda_{min}} + \frac{a}{\lambda_{min}}\left(1 + \frac{b}{\lambda_{min}}\right) = \frac{a}{\lambda_{min}}\left[1 + \left(1 + \frac{b}{\lambda_{min}}\right)\right].$$

3-е насыщение. Третий раз подогретый и охлажденный воздух выделит тепла:

$$\theta_3 = a + \frac{ab}{\lambda_{min}}\left[1 + \left(1 + \frac{b}{\lambda_{min}}\right)\right].$$

Он испарит воды

$$q_3 = \frac{a}{\lambda_{min}} + \frac{ab}{\lambda_{min}^2}\left[1 + \left(1 + \frac{b}{\lambda_{min}}\right)\right].$$

Всего воды в нем:

$$q_1 + q_2 + q_3 = \frac{a}{\lambda_{min}} + \frac{a}{\lambda_{min}}\left(1 + \frac{b}{\lambda_{min}}\right) + \frac{a}{\lambda_{min}} + \frac{2ab}{\lambda_{min}^2} + \frac{ab^2}{\lambda_{min}^3} =$$

$$= \frac{a}{\lambda_{min}}\left[1 + \left(1 + \frac{b}{\lambda_{min}}\right) + \left(1 + \frac{b}{\lambda_{min}}\right)^2\right].$$

[1] $\lambda = 606.5 + 0.305t$.

n-е насыщение. *n*-й раз подогретый и охлажденный воздух будет заключать влажности:

$$Q = \frac{a}{\lambda_{min}}\left[1 + \left(1 + \frac{b}{\lambda_{min}}\right) + \left(1 + \frac{b}{\lambda_{min}}\right)^2 + \ldots + \left(1 + \frac{b}{\lambda_{min}}\right)^{n-1}\right] =$$

$$= \frac{a}{\lambda_{min}} \cdot \frac{\left(1 + \frac{b}{\lambda_{min}}\right)^n - 1}{\left(1 + \frac{b}{\lambda_{min}}\right) - 1} = \frac{a}{b}\left[\left(1 + \frac{b}{\lambda_{min}}\right)^n - 1\right]. \quad (1)$$

Здесь

Q есть содержание паров воды в килограммах отработавшего воздуха при принятой влажности и температуре;

n есть число насыщений, нужное для достижения принятой влажности, т. е. число подогревов, которые должен испытать воздух, чтобы насытиться влагой до степени 75% его влажности ранее, чем выйти из сушила.

Ниже мы увидим, что нагревательные аппараты располагаются в сушиле так, что возбуждают в нем непрерывную циркуляцию воздуха. Определенное по этой форме n дает нам указание, сколько раз воздух должен обмыть сушимый предмет раньше, чем удалиться из сушила.

Из выражения (1) получим:

$$1 + \frac{Qb}{a} = \left(1 + \frac{b}{\lambda_{min}}\right)^n;$$

$$n = \frac{\lg\left(1 + \frac{Qb}{a}\right)}{\lg\left(1 + \frac{b}{\lambda_{min}}\right)} = \frac{\lg\left(1 + Q\,\frac{606.5 + 0.305t_{max} - 606.5 - 0.305t_{min}}{0.2375\,(t_{max} - t_{min})}\right)}{\lg\left(1 + \frac{\lambda_{max} - \lambda_{min}}{\lambda_{min}}\right)} =$$

$$= \frac{\lg(1 + 1.284Q)}{\lg\frac{\lambda_{max}}{\lambda_{min}}}.$$

На основании этой формулы вычислена табл. 6 и построена соответствующая кривая (фиг. 6), с указанными черточками — возможными ошибками вычисления.

Рассмотрение этой таблицы приводит нас к такому выводу:

1. Для того, чтобы увлажнить воздух в сушильной камере до 75%, он должен быть подогрет от 8 до 12 раз.

2. После каждого подогрева теплый воздух поднимается к потолку сушильной камеры и, насыщаясь парами воды, стынет и опускается к поду сушила.

3. Таким образом создается внутри сушила циркуляция: сверху вниз подогретого и стынущего, снизу вверх подогреваемого воздуха.

4. Для того чтобы возбудить такую вертикально направленную циркуляцию воздуха внутри сушила, отопительные приборы надо расположить вертикально, лучше всего придав им вид вертикальных жаровых или труб водяного или парового отопления.

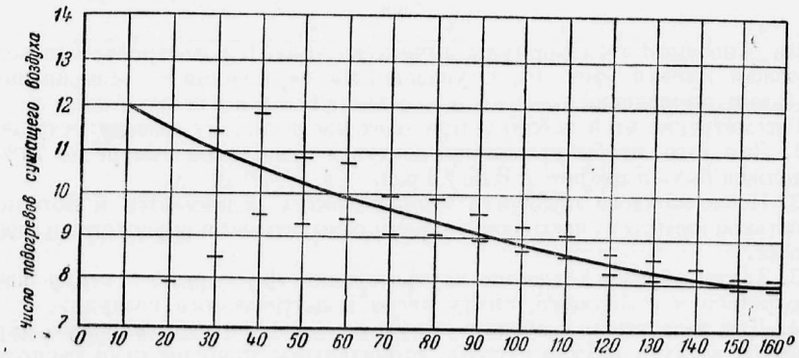
5. Вертикальная поверхность жаровых труб возбуждает вдоль нее вертикальные конвекционные потоки горячего воздуха, наполняющего сушило, и дает импульс циркуляции.

6. Сушимые предметы тоже необходимо располагать вертикально или вертикальными стопами.

Таблица

t_{max}, °Ц	t_{min}, °Ц	Вес 1 м³ пара при t_{min} и 75% влажности, кг	Вес 1 м³ сырого воздуха при t_{min} и влажности 75%, кг	Q при t_{min} и 75% влажности, кг	λ_{max}, кал	λ_{min}, кал	1+1.284 Q	$\frac{\lambda_{max}}{\lambda_{min}}$	lg (1+1.284 Q)	$\frac{\lambda_{max}}{\lg \lambda_{min}}$	n вычисленное	Ошибка: абсолютная	Ошибка: относительная	Согласно с кривой на фиг. 6
10	9.0	0.0065	1.250	0.0052	609.6	609.4	1.0066	1.0003	0.00286	0.00013	20	+20	100%	12.0
20	17.9	0.0109	1.210	0.0090	612.6	612.0	1.0114	1.0010	0.00492	0.00043	11.4	3.5	35	11.5
30	26.3	0.0180	1.170	0.0154	615.7	614.5	1.0197	1.0019	0.00847	0 00083	10.0	1.4	14	11.1
40	34.0	0.0278	1.132	0.0246	618.7	616.9	1.0316	1.0029	0.00351	0.00126	10.7	1.1	10	10.7
50	40.8	0.0399	1.100	0.0363	621.8	619.0	1.0465	1.0045	0.01974	0.00195	10.1	0.7	7	10.3
60	47.0	0.0549	1.068	0.0514	624.8	620.8	1.0660	1.0063	0.02776	0.00273	10.1	0.6	5.5	9.9
70	52.5	0.0690	1.040	0.0663	627.9	622.5	1.0850	1.0086	0.03543	0.00372	9.6	0.4	4.2	9.6
80	57.3	0.0871	1.015	0.0858	630.9	623.9	1.1102	1.0110	0.04540	0.00475	9.5	0.3	3.3	9.4
90	61.6	0.1039	0.990	0.1049	634.0	625.3	1.1349	1.0139	0.05496	0.00600	9.2	0.24	2.7	9.2
100	65.3	0.1208	0.971	0.1244	637.0	626.5	1.1597	1.0167	0.06435	0 00719	9.0	0.22	2.5	9.0
110	68.7	0.1427	0.944	0.1512	640.1	627.5	1.1940	1.0200	0.07700	0.00860	8.9	0.20	2.3	8.8
120	71.7	0.1583	0.928	0.1706	643.1	628.3	1.2191	1.0236	0.08604	0.01014	8.5	0.18	2.1	8.6
130	74.6	0.1791	0.908	0.1972	646.2	629.2	1.2531	1.0270	0.09798	0.01157	8.4	0.16	1.9	8.4
140	77.0	0.1970	0.890	0.2213	649.2	630.0	1.2841	1.0305	0.10860	0.01305	8.3	0.15	1.8	8.2
150	79.3	0.2126	0.876	0.2427	652.3	630.6	1.3114	1.0344	0.11773	0.01469	8.0	0.14	1.7	8.1
160	81.3	0.2335	0.855	0.2731	655.3	631.4	1.3505	1.0378	0.13050	0.01612	8.0	0.13	1.6%	8.0

Так надо располагать дрова в сушиле для дров. Вертикальными стопами надо располагать решета для сушки овощей, полки для сушки кирпича и т. д.



Фиг. 6

Таким образом выясняются главные основания правильной конструкции сушил:

а) вертикальное расположение отопительных устройств и такая их конструкция, которая способствовала бы возбуждению вертикальных конвекционных потоков нагреваемого воздуха;

б) такое же расположение сушимых предметов, которое способствовало бы созданию в полости сушила между сушимыми предметами вертикальных нисходящих потоков остывших газов.

7. Количество циркулирующего воздуха в 8—12 раз должно превосходить секундный расход теплого влажного воздуха, определяемого по табл. 4.

8. Скорости циркуляции не должны быть велики, ибо импульс всей циркуляции дается разностью весов воздуха при t_{min} и t_{max}, т. е. величиной весьма незначительной. Поэтому вертикальные циркуляционные каналы должны быть широки и рассчитаны в зависимости от объема циркулирующих газов.

9. Расход тепла на нагрев сушимых материалов и лучеиспускание должен быть по возможности меньше. Покрыть этот расход можно двумя путями:

а) располагая отопительные устройства у стен сушила и делая

Таблица 7

t_{max}, °Ц	t_{min}, °Ц	Количество сухого воздуха, выносящее 1 кг пара при 75% влажности, кг	Количество влажного воздуха, выносящее 1 кг пара при 75% влажности, м³	Число подогревов сушащего воздуха	Проектное количество циркулирующего воздуха, м³
20	17.9	104	88	11.5	1012
25	22.2	80	69	11.3	780
30	26.3	62	55	11.1	612
35	30.2	49	45	10.9	492
40	34.0	39	36	10.7	385
45	37.5	32	30	10.5	315
50	40.8	26.8	25.4	10.3	262
55	44.1	22.5	21.4	10.1	216
60	47.0	19.2	18.6	9.9	184
65	49.9	16.2	16.0	9.7	155
70	52.5	14.1	14.4	9.6	138
75	55.0	12.3	12.8	9.5	122
80	57.3	10.9	11.6	9.4	109
85	59.5	9.5	10.5	9.3	98
90	61.6	8.4	9.6	9.2	88
95	63.5	7.6	8.9	9.1	81
100	65.3	6.8	8.2	9.0	74
105	67.0	6.2	7.7	8.9	68.5
110	68.7	5.7	7.2	8.8	63.4
115	70.3	5.2	6.7	8.7	58.3
120	71.7	4.8	6.3	8.6	54.3
125	73.2	4.5	5.9	8.5	51.0
130	74.6	4.1	5.6	8.4	47.0
135	75.8	3.8	5.3	8.3	44.0
140	77.0	3.5	5.1	8.2	41.8
145	78.1	3.3	4.9	8.2	40.2
150	79.3	3.1	4.7	8.1	38.0
155	80.3	2.9	4.5	8.0	36.0
160	81.3	2.8	4.3	8.0	34.4

достаточный промежуток между потолком и сушимыми предметами, можно несколько поднять температуру в расчете на то, что воздух, омывая наружные стены, успеет остыть раньше, чем придти в соприкосновение с сушимыми предметами;

б) другой путь — это настолько увеличить число циркуляций, чтобы покрыть расход на лучеиспускание.

10. В случае сушки дров и леса весьма часто топочные газы вводят в сушильную камеру и ими непосредственно омывают сырые дрова. Так как сушила для дров отапливаются дровами, то в продуктах горения находится значительное количество паров воды. Эти пары связывают определенное количество газов влажностью 75%, это количество печных газов должно быть выключено из общего количества сушащего воздуха и газов, согласно с табл. 4, и введено в расчет при расчете количества циркулирующих газов.

t_{max}, °Ц	Вес 1 м³ сухого воздуха, кг	Влажность 100%				Влажность 75%			
		давление пара, насыщенного простр., кг/см²	вес 1 м³ пара, насыщенного простр., кг	частичный вес воздуха в 1 м³ влажного воздуха, кг	вес 1 м³ влажного воздуха, кг	давление пара при 75% влажности, кг/см²	частичный вес пара в 1 м³ влажного воздуха, кг	частичный вес сухого воздуха в 1 м³ влажного, кг	вес 1 м³ влажного воздуха, кг
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
20	1.2049	0.0236	0.0170	1.1780	1.1950	0.0177	0.0128	1.1847	1.1975
25	1.1847	0.0320	0.0227	1.1487	1.1714	0.0240	0.0170	1.1576	1.1746
30	1.1651	0.0429	0.03 0	1.1174	1.1474	0.0322	0.0225	1.1288	1.1513
35	1.1462	0.0570	0.0391	1.0838	1.1229	0.0427	0.0293	1.1001	1.1294
40	1.1279	0.0746	0.0506	1.0470	1.0976	0.0559	0.0380	1.0673	1.1053
45	1.1102	0.0971	0.0649	1.0065	1.0714	0.0728	0.0487	1.0334	1.0821
50	1.0930	0.1250	0.0824	0.9613	1.0437	0.0938	0.0618	0.9944	1.0562
55	1.0763	0.1597	0.1040	0.9105	1.0145	0.1197	0.0780	0.9622	1.0402
60	1.0601	0.2023	0.1300	0.8531	0.9831	0.1517	0.0975	0.9031	1.0006
65	1.0445	0.2542	0.1610	0.7880	0.9490	0.1905	0.1208	0.8505	0.9713
70	1.6292	0.3169	0.1980	0.7140	0.9120	0.2378	0.1485	0.7919	0.9404
75	1.0144	0.3922	0.2430	0.6298	0.8728	0.2940	0.1823	0.7227	0.9050
80	1.0001	0.4821	0.2940	0.5340	0.8280	0.3615	0.2205	0.6649	0.8854
85	0.9861	0.5887	0.3540	0.4245	0.7785	0.4415	0.2655	0.5583	0.8238
90	0.9725	0.7145	0.4250	0.3003	0.7253	0.5359	0.3188	0.4597	0.7785
95	0.9593	0.8616	0.5070	0.1595	0.6665	0.6462	0.3803	0.3473	0.7276
100	0.9464	1.0333	0.6020	0.0000	0.6020	0.7749	0.4515	0.2345	0.6860
105	0.9339	—	—	—	—	—	—	—	—
110	0.9217	—	—	—	—	—	—	—	—
115	0.9099	—	—	—	—	—	—	—	—
120	0.8983	—	—	—	—	—	—	—	—
125	0.8870	—	—	—	—	—	—	—	—
130	0.8760	—	—	—	—	—	—	—	—
135	0.8653	—	—	—	—	—	—	—	—
140	0.8548	—	—	—	—	—	—	—	—
145	0.8446	—	—	—	—	—	—	—	—
150	0.8346	—	—	—	—	—	—	—	—
155	0.8248	—	—	—	—	—	—	—	—
160	0.8153	—	—	—	—	—	—	—	—

Согласно вышесказанному, при проектировании сушил будем исходить из следующих данных:

а) производительность сушила в 1 секунду;

б) количество воды, испаряемое в 1 секунду;

в) наивысшая температура сушки или температура подогретого воздуха t_{max};

г) температура отработавшего воздуха t_{min} (табл. 1);

д) влагоемкость при этой температуре воздуха при 75% влажности (табл. 3);

е) количество килограммов сухого воздуха, поступающего в сушило в 1 секунду (табл. 4);

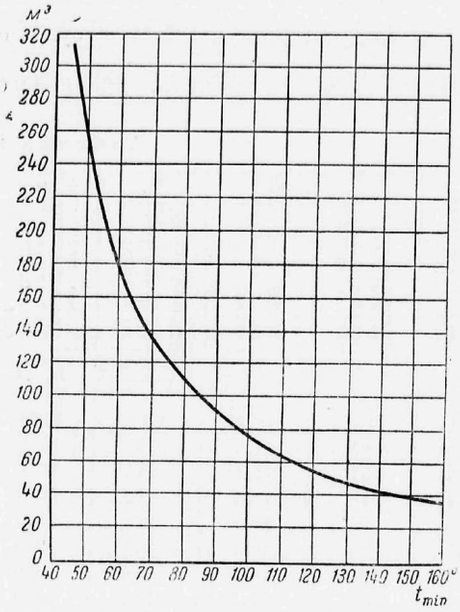
ж) количество кубических метров влажного воздуха, удаляемого в 1 секунду из сушила (табл. 4).

Таблица 8

t_{min}, °Ц	Число кг сухого воздуха, выносящего 1 кг пара при 75% насыщения	Число м³ сухого воздуха, выносящего 1 кг пара при 75% насыщения	Число кг влажного воздуха, выносящего 1 кг пара при 75% насыщения	Число м³ влажного воздуха, выносящего 1 кг пара при 75% насыщения	Число подогревов воздуха внутри сушила	Проектное число м³ циркулирующего внутри сушила воздуха	Тепло, необходимое для выпесения 1 кг влажного воздуха из сушила, кал
11	12	13	14	15	16	17	18
17.9	104	86	106	88	11.5	1012	1160
22.2	80	67	82	69	11.3	780	1120
26.3	62	53	64	55	11.1	612	1080
30.2	49	43	52	45	10.9	492	1040
34.0	39	35	41	36	10.7	385	1000
37.5	32	29	34	30	10.5	315	960
40.8	26.8	24.5	27.9	25.4	10.3	262	920
44.1	22.5	21.0	23.2	21.4	10.1	216	890
47.0	19.2	18.1	19.9	18.6	9.9	184	860
49.9	16.2	15.5	16.9	16.0	9.7	155	830
52.5	14.1	14.9	15.0	14.4	9.6	138	820
55.0	12.3	12.1	13.2	12.8	9.5	122	820
57.3	10.9	10.9	11.8	11.6	9.4	109	820
59.5	9.5	9.6	10.5	10.5	9.3	98	820
61.6	8.4	8.9	9.5	9.6	9.2	88	820
63.5	7.6	7.9	8.7	8.9	9.1	81	830
65.3	6.8	7.2	7.9	8.2	9.0	74	830
67.0	6.2	6.6	7.3	7.7	8.9	68.5	840
68.7	5.7	6.2	6.8	7.2	8.8	63.4	840
70.3	5.2	5.7	6.3	6.7	8.7	58.3	850
71.7	4.8	5.3	5.9	6.3	8.6	54.3	860
73.2	4.5	5.1	5.5	5.9	8.5	51.0	870
74.6	4.1	4.7	5.1	5.6	8.4	47.0	880
75.8	3.8	4.4	4.8	5.3	8.3	44.0	890
77.0	3.5	4.1	4.5	5.1	8.2	41.8	900
78.1	3.3	3.9	4.3	4.9	8.2	40.2	910
79.3	3.1	3.7	4.1	4.7	8.1	38.0	920
80.3	2.9	3.5	3.9	4.5	8.0	36.0	930
81.3	2.8	3.4	3.7	4.3	8.0	34.4	940

Собирая эти данные вместе, мы можем составить следующую таблицу (табл. 7).

Фиг. 7 дает нам количество циркулирующего воздуха в сушиле, т. е. последнюю недостающую нам цифру для полного проекта сушила. В табл. 8 1-й столбец говорит о температуре вверху сушила, 11-й о температуре внизу, 12-й о количестве вступающего воздуха в кг/сек., 15-й о количестве кубических метров удаляемого из сушила теплого влажного воздуха и 17-й об объеме циркулирующего в сушиле воздуха в расчете на 1 кг воды, удаляемой из сушила в единицу времени. Имея эти проектные данные, нам остается спроектировать только отопительные устройства. Исходные данные для проектирования их найдем в столбце 18-м табл. 8.



Фиг. 7

Глава II

КОНСТРУКЦИЯ СУШИЛ ПРАВИЛЬНАЯ И СУШИЛА-УРОДЫ

Самой распространенной ошибкой в конструкции сушил является отвод отработавших влажных газов сверху. При такой конструкции сушила струйки сухого теплого воздуха скорее удаляются в трубу, чем остывшие насыщенные влажностью струйки, и сушка идет очень неравномерно. В полости сушила устанавливаются пути прямой тяги вверх и глухие углы застойных газов, где материал не сушится, а распаривается.

Правильная *равномерная* сушка возможна только при обливании сушащих предметов нисходящим потоком теплых сушащих газов, следовательно, при обращенной тяге.

На основании вышеизложенного я оставляю без рассмотрения большинство принятых на практике сушил как построенных на ложном принципе. Первое правило, которому должно удовлетворять правильно построенное сушило, состоит в том, что отработавшие газы отводятся снизу.

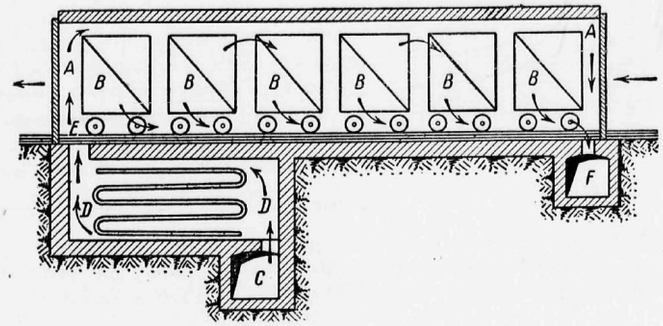
а) Сушило однократного насыщения. Прекрасная по оборудованию крахмалосушилка Лемана (фиг. 8) сушит весьма неудовлетворительно единственно потому, что насыщение в ней происходит только один раз. Устройство ее таково: в коридоре *AA* движутся вагонетки *BB* с решетками с сырым крахмалом. Вентилятор нагнетает холодный воздух через боров *C* в камеру, где расположены трубы парового отопления. Через отверстие *E* теплый воздух вступает в коридор *AA* и поднимается под свод его. Насыщенный парами воды остывший воздух удаляется с пода через боров *F*.

Расчет этого сушила, не принимая в расчет потери на лучеиспускание, может быть сделан так: сухой воздух, нагретый до 50°, несет в себе количество тепла, равное 11.9 кал/кг (табл. 3).

Воздух с 75% влажности содержит при 20° 10.95 кал тепла. Следовательно, температура отработавшего воздуха, не принимая в расчет лучеиспускания и нагрева крахмала и вагонеток, будет несколько выше 20°, а приняв их в расчет,— несколько ниже 20°. Будем считать ее в 20°. Тогда на 1 кг сухого воздуха из сушила будет внесено 0.0108 кг воды. Полезный коэффициент сушки определится, как частное от деления количества тепла в паре на все количество тепла во влажном воздухе при 20°

$$6.2 : 10.95 = 0.56, \text{ или } 56\%.$$

Количество холодного воздуха, которое должно быть нагнетаемо в сушило для удаления 1 кг воды из крахмала, будет равно 1 : 0.0108 = 92.6 кг.



Фиг. 8

Если мы сделаем сушило многократного насыщения, то при температуре вступающего в сушило воздуха в 50° температура отработавшего воздуха будет 40.8°, примем в 40°, число насыщений будет 10.3 (табл. 6). Коэффициент полезного действия сушки 70% (табл. 3). Количество сухого воздуха на 1 кг влажности крахмала 28.1 кг (табл. 6).

Из этого примера видна выгода сушил многократного насыщения. Коэффициент полезного действия, как мы видели выше, поднялся, а следовательно, расход на нагрев воздуха сократился в 70 : 56 = 1.25 раза, а дутье в 92.6 : 28.1 = 3.3 раза.

Очевидно, что производительность сушила данных размеров может быть увеличена введением многократного насыщения в три раза.

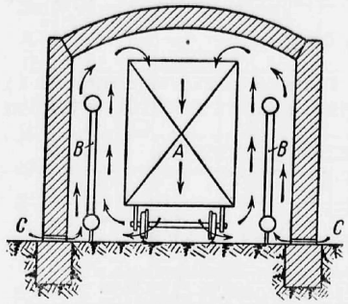
Какова же должна быть конструкция коридорного сушила многократного насыщения? Совершенно очевидно, что эта конструкция должна обеспечить возможность сушащим газам десятикратного насыщения, т. е. должна быть приспособлена для непрерывной циркуляции десятикратного объема печных газов.

Мы видели, что 1 кг паров воды при 75% влажности и 40° может быть вынесен 28.1 кг сухого воздуха, или, согласно с табл. 6, 26.3 м³ влажных, отработавших сушащих газов.

Сила, движущая циркулирующий объем, есть функция разности весов кубических метров сушащих газов при t_{max} и t_{min} и не может быть зна-

чительна, и скорость циркуляции не может быть велика. Отсюда ясно, что циркуляция печных газов в сушиле должна совершаться в направлении, обеспечивающем для струи циркулирующих газов *максимальную площадь сечения*.

Для коридорного сушила это будет циркуляция в плоскости, нормальной к длине сушила, как показано на фиг. 9, где плоскостью циркуляции является плоскость чертежа. Максимальная площадь сечения будет горизонтальна. Нагревающие сушащие газы трубы парового отопления *BB* должны, очевидно, быть поставлены по сторонам поезда вагонеток *A* с сырым крахмалом. Собирающиеся на полу остывшие влажные печные газы (воздух) нагреваются и увлекаются этими трубами вверх. Здесь они собираются под сводом, затем опускаются мимо решет с сырым крахмалом, насыщаются парами воды и опять собираются на под коридора, опять нагреваются трубами *BB* и таким образом циркулируют сверху вниз и снизу вверх.



Фиг. 9

Сушило, способное выделять из сушимого материала 0.1 кг воды в секунду, должно быть рассчитано на циркуляцию $\frac{26.3 \cdot 10.3}{10} = 27.1$ м³ воздуха в секунду. Мы видели, что поднимающийся поток сушащих газов имеет температуру 50°, а опускающийся 40°. Вес второго, по табл. 1, равен 1.105 кг/м³. Тот же воздух, нагретый до 50°, будет весить:

$$\frac{1.105}{\frac{1}{1+\frac{40}{273}}} \cdot \frac{1}{1+\frac{50}{273}} = 1.071 \text{ кг/м}^3.$$

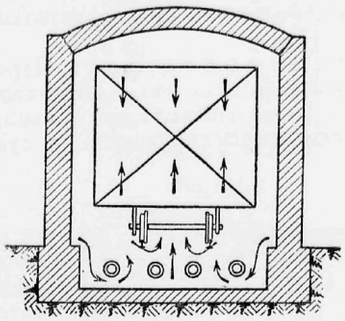
Гидростатическое давление, вызывающее циркуляцию при высоте сушила в 2 м, будет $\delta = 2(1.105 - 1.071) = 0.068$ кг/м³, напор теплого воздуха, равный для воздуха в 40°—0.034 : 1.105 ≈ 0.031 м; для воздуха в 50° — 0.034 : 1.071 ≈ 0.032 м; в сумме 0.063 м. За счет этого напора должны быть рождены скорости нисходящего и восходящего циркуляционных потоков воздуха при 40° вниз и при 50° вверх. При обмывании подвергающихся сушке предметов эти скорости будут утеряны несколько раз. Допустим, четыре раза. Тогда на рождение каждой скорости придется около 0.016 м, т. е. скорость циркуляции будет около 0.5 м/сек. Откуда следует, что коридорная печь должна быть настолько широка, чтобы площадь сечения промежутков между вагонами и стенами удовлетворяла условию движения по ним циркулирующих газов со скоростью меньшей 0.5 м/сек.

Тому же условию должно удовлетворять и расположение решет на вагончиках *AA*. Решета надо располагать стопами с большими промежутками между ними.

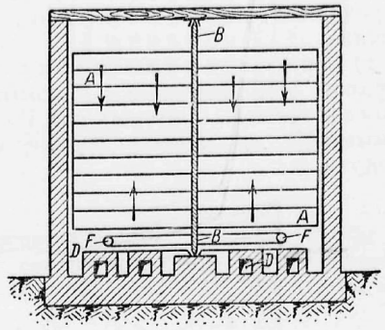
Устраивая так коридорное сушило, мы получим внутри него правильную циркуляцию, указанную стрелками. Мы видели, что циркулирующий объем для крахмалосушилки равен 10.3 секундного объема. Каким же образом выделить из циркулирующего объема эту $^1/_{10.3}$ часть?

Правила расположения дымового канала см. стр. 152.

б) Из описания правильной конструкции коридорного сушила совершенно очевидна ошибка, допускаемая г. Клячиным в его сушиле при углевыжигательной печи его имени (фиг. 10). Он располагает нагревательные приборы в яме под рельсами. Очевидно, что струи нагретых сушильных газов будут подниматься навстречу остывшим между дровами отработавшим струйкам, и правильной циркуляции в сушиле установиться не может, а следовательно, невозможна правильная сушка дров и равномерное углежжение.



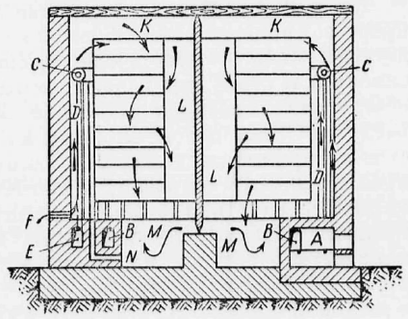
Фиг. 10



Фиг. 11

В интересах правильной сушки дрова в сушиле надо располагать вертикально. Дно вагонов надо делать не сплошным, а решетчатым. От этих ошибок не избавлены углевыжигательные печи Аминова и Грендаля.

в) Карусель для сушки картофеля Полевицкого (фиг. 11). Карусель представляет колесо *AA* с вертикальной осью *BB*, на которое устанавливаются совершенно плотно 11 рядов полок с сырым резаным картофелем. Внизу расположены кирпичные борова *DD* и кольцеобразная железная труба *FF*, назначение коих подогреть вступающий снизу в сушило воздух. Сырой воздух отводится снизу.



Фиг. 12

Недостаток карусели тот же, что и печи Клячина. Поднимающиеся теплые струи идут навстречу опускающимся вниз, чем нарушается правильная циркуляция. Неравномерность сушки исправляется непрерывным вращением карусели. Сушка идет медленно. Сушило все заполняют сырым картофелем, высушивают и вновь заполняют сырым картофелем, ибо непрерывная сушка не удается.

Проект этот должен быть изменен в следующем направлении (фиг. 12).

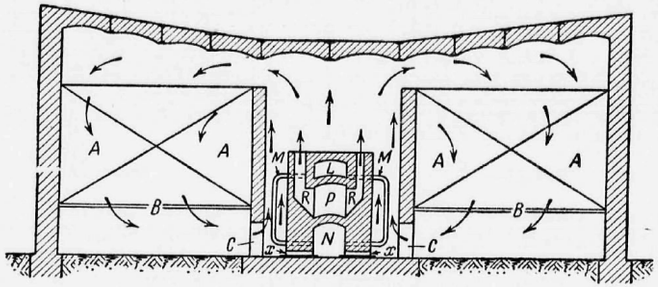
Топочные газы из топки *A*, борова *B* и кольца железных труб *CC* опускаются по вертикальным железным трубам *DD* в дымовой боров *E*, куда поступает и отработавший влажный воздух. Направление циркуляции показано стрелками.

Наружный воздух вступает через отверстия F, обогревается около труб D и поднимается к потолку сушила KK. Затем омывает решета с картофелем и проходит между ними в колодец внутри карусели LL и в нижнюю часть сушила MM. Чтобы он там не застаивался, служат каналы N, которыми он вновь подводится к трубам DD.

Расчет этого сушила показывает ошибочность тесноты существующих сушил.

Сушило большой производительности должно быть сделано по возможности более просторно, только тогда в нем может установиться правильная циркуляция, достаточно мощная, чтобы обеспечить производительность сушила.

г) Проект сушила для столярного леса. Неравномерность обмывания досок теплыми струями воздуха вызывает появление в досках трещин, портящих лес. Их можно будет избежать при правильном обмывании досок нисходящими струями циркулирующего в сушиле воздуха.



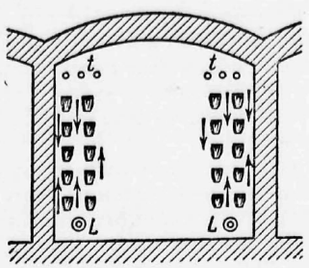
Фиг. 13

На фиг. 13 представлено: две стопы досок AA, сложенных крест-накрест с промежутками в ширину доски. Таким образом, объем промежутков равен объему досок. Доски укладываются так аккуратно, чтобы сквозь всю стопу проходили вертикальные каналы в ширину доски, что обеспечивает беспрепятственное опускание струй остывшего влажного воздуха. Стопы досок сложены на погонах BB, опирающихся на выступы стен и кирпичные столбы CC. Таким образом, под стопой досок получается проход в рост человека, и остывший влажный воздух может свободно циркулировать под стопой по направлению к воздухонагревателю с чугунными трубами, поставленному в среднем отделении сушила. Воздухонагреватель состоит из топки и борова L, из которого топочные газы распределяются по трубам MM, опускаясь совершенно равномерно в дымовой боров NN, а из него в дымовую трубу.

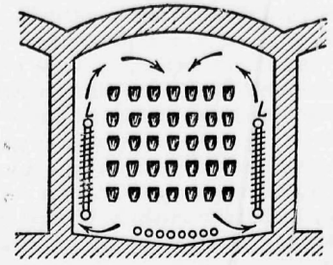
Холодный воздух вступает в боров P и, согретый в каналах RR, выходит в сушило, поднимается кверху, омывая стопы с досками, спускается через вертикальные колодцы в стопах вниз под стопы, омывает трубы MM, согревается и поднимается опять вверх, осуществляя, таким образом, циркуляцию и насыщаясь парами воды.

Самый холодный влажный воздух стелется по самому поду сушила. Тут он собирается с пода отверстиями xx в дымовой боров NN и вместе с дымом выносится дымовой трубой.

д) Сушило Ижевского завода для сушки тиглей для плавки стали (фиг. 14). Сушило это работает без вентиляции. Влажность воздуха, заполняющего сушило, осаждается трубами с холодной водой tt, а воздух подогревается трубами парового отопления LL. Циркуляция воздуха не планомерна. Очевидно, горячие струи направляются кверху навстречу влажным струям остывшего воздуха. Трубы tt, расположенные наверху, напрасно студят теплый воздух, собирающийся наверху. Правильная конструкция показана на фиг. 15, она понятна сама собой.



Фиг. 14



Фиг. 15

Глава III

ХАРАКТЕР ПРОЦЕССА СУШКИ В СУШИЛАХ МНОГОКРАТНОГО НАСЫЩЕНИЯ

Из теории сушки следует, что в сушилах многократного насыщения циркулирует воздух при t_{min} с влажностью до $^7/_8$ и $^{11}/_{12}$ предельной, установленной нами влажности в 75%, т. е. с влажностью от 65.5 до 69%.

При t_{max}, как видно из табл. 9, влажность этого воздуха изменяется в пределах: при 20° с 68.5% уменьшается до 67.2%, при 160° с 65.5% уменьшается до 6.2%, при средних температурах около 90° она уменьшается с 66.9 до 22.1%.

Таким образом, характер сушки внизу и вверху сушила существенно различны: вверху сушила осуществляется сушка более резкая, внизу более мягкая.

Некоторые материалы, например бездымный порох, при резкой сушке дают корочку, которая негигроскопична и потому тормозит успешность сушки. Центральные волокна пороха просыхают в этом случае очень медленно. В сушилах однократного насыщения поэтому к теплому воздуху прибавляют пар; обыкновенно же один и тот же воздух прогоняют через нагревательный прибор много раз, обращая сушило в сушило многократного насыщения с принудительным движением воздуха при помощи вентилятора.

Эту разнохарактерность сушки вверху и внизу сушила многократного насыщения с естественной циркуляцией должно учитывать при ответственной сушке, например сушке семенного хлеба. Понижение всхожести семян есть следствие спутанности наших понятий о работе сушил и поэтому малой изученности условий наиболее благоприятной сушки, сохраняющей всхожесть семян. То же касается сушки дерева, которая вообще плохо удается.

При сушке разнохарактерных керамических изделий нагрузка сушиля должна учитывать разный *характер* сушки внизу и вверху.

Другим недостатком сушки является запаривание материала, т. е. конденсация паров воды на вновь введенном в сушила холодном сыром материале. В табл. 9 в последней графе помечена точка росы циркулирующего в сушиле воздуха. При введении в атмосферу теплого воздуха холодного предмета на его поверхности, конечно, будет садиться роса.

Если, например, в коридорное сушило для столярного леса ввести с мороза вагон, то, очевидно, весь лес покроется росой. Этот недостаток можно ослабить, если приемную часть сушила, куда вводится вагон с холодным сырым материалом, снабжать более значительным числом нагревательных приборов и сюда же вводить наружный воздух.

Дымовой канал сушила правильно располагать ближе к тому концу коридора, через который вагоны с сухим лесом выводятся наружу. Таким образом, цифры и логика убеждают нас, что в сушилах многократного насыщения принцип обратного течения не должен иметь места.

Таблица 9

t_{max}, °Ц	t_{min}, °Ц	Число подогревов n воздуха внутри сушила	Приблизительная влажность K воздуха перед последним подогревом при t_{min}, %	Количество воды, содержащейся в 1 кг воздуха при t_{min} и влажности K%, кг	Влажность воздуха после последнего подогрева при t_{max}, %	Точка росы влажного воздуха перед последним насыщением, °Ц
20	17.9	11.5	68.5	0.0114	67.2	13
25	22.2	11.3	68.4	0.0143	63.2	17
30	26.3	11.1	68.2	0.0177	59.6	21
35	30.2	10.9	68.1	0.0218	55.8	24
40	34.0	10.7	68.0	0.0267	52.8	28
45	37.5	10.5	67.8	0.0319	49.1	31
50	40.8	10.3	67.7	0.0372	45.2	34
55	44.1	10.1	67.6	0.0440	42.3	37
60	47.0	9.9	67.5	0.050	38.5	40
65	49.9	9.7	67.4	0.057	35.4	42
70	52.5	9.6	67.3	0.064	32.3	45
75	55.0	9.5	67.2	0.072	29.6	47
80	57.3	9.4	67.1	0.079	26.9	49
85	59.5	9.3	67.0	0.086	24.3	51
90	61.6	9.2	66.9	0.094	22.1	53
95	63.5	9.1	66.8	0.103	20.3	55
100	65.3	9.0	66.7	0.111	18.4	57
105	67.0	8.9	66.6	0.118	16.6	59
110	68.7	8.8	66.5	0.126	15.2	60
115	70.3	8.7	66.4	0.133	13.6	61
120	71.7	8.6	66.3	0.141	12.4	62
125	73.2	8.5	66.2	0.150	11.4	63
130	74.6	8.4	66.1	0.159	10.5	64
135	75.8	8.3	66.0	0.167	9.6	66
140	77.0	8.2	65.9	0.174	8.7	67
145	78.1	8.2	65.8	0.181	8.0	68
150	79.3	8.1	65.7	0.189	7.3	69
155	80.3	8.0	65.6	0.197	6.7	70
160	81.3	8.0	65.5	0.205	6.2	71

Для того, чтобы ослабить явление запаривания, необходимо так располагать материал для сушки, чтобы он нагревался возможно скорее.

Это достигается таким его расположением, чтобы вертикальная циркуляция воздуха могла осуществляться беспрепятственно. Дрова надо ставить вертикально; так же вешать ткани; решета надо располагать стопами с широкими промежутками между ними.

Плотное расположение материалов, подвергающихся сушке, трудная проницаемость их для вертикальной циркуляции, неправильное расположение отопительных устройств способствуют запариванию и порче материалов, подвергающихся сушке.

Означенная работа решает в корне вопрос о правильной конструкции и расчете сушил. Происхождение этой работы таково: лет десять назад инж. К. К. Адамецкий показал мне свою конструкцию сушила многократного насыщения, на которую им была взята привилегия, но оно было громоздко и распространения не получило. В этом году мой ученик инж.-мет. Н. Н. Шадрин помог мне вывести формулу для определения числа насыщений, а мой сын С. Грум-Гржимайло определил степень точности этой формулы и вычислил все таблицы этого руководства. Таким образом, этому коллективному труду была дана форма краткого, но исчерпывающего вопрос руководства.

ПРИМЕЧАНИЕ РЕДАКТОРА

Статья напечатана в Известиях Уральского горного института в 1920 г. (№ 7).

Создав свою теорию сушил, В. Е. Грум-Гржимайло указал прежде всего на те ошибки, которые делались часто при проектировании сушил и заключались в неправильном расположении отопительных приборов и направлении струй сущащего воздуха. Правило об удалении отработавшего воздуха снизу и необходимость подогревать воздух несколько раз привели В. Е. к мысли создать внутри сушила циркуляцию воздуха за счет разностей температур вверху и внизу сушила с учетом разностей удельных весов воздуха неодинаковой влажности.

Работая над этими вопросами в 1918—1920 гг., В. Е. не имел возможности проверить свои соображения на практике, и этим объясняется тот большой запас в перепаде температур вверху и внизу сушила, который он дал в табл. 2 (стр. 141). Это, в сущности говоря, максимально возможные перепады температур, которые могут быть использованы для создания восходящих и нисходящих скоростей сушащего воздуха. В действительности же они:

1) не нужны, так как необходимые скорости могут быть созданы за счет гораздо меньших перепадов температур;

2) часто недопустимы, так как сушильные изделия не допускают такой большой разницы температур вверху и внизу сушила.

Первые сушила (для кожи), построенные В. Е. в 1925 г., внесли необходимую поправку и указали на возможность создавать в сушилах естественную циркуляцию воздуха за счет перепада температур всего в несколько градусов.

Во всей этой работе В. Е. нельзя не отметить поразительное умение использовать законы и явления природы для решения труднейших задач инженерного конструирования. Вопрос об одинаковой температуре во всем рабочем пространстве сушила — это один из самых трудных вопросов проектирования сушил, решающийся обычно постановкой вентиляторов и сместителей в полости сушила. В. Е. ни в одном из своих сушил не поставил ни одного вентилятора и добился поразительных результатов в равномерности сушки исключительно за счет умелого использования физических законов природы.

Изучить сущность происходящих явлений, сделать устройство так, чтобы в нем ничего не противоречило природе, заставить природу служить себе — вот те основные правила, которым он обучал своих учеников, проектировавших сушила, печи и другие установки.

ЗАМЕТКА ОБ ИССЛЕДОВАНИИ ПРОЦЕССА СУХОЙ ПЕРЕГОНКИ ВИОЛЕТТА (1857 г.)

Когда я разобрался в результатах исследований Виолетта, я вспомнил крылатое слово Щедрина: «писатель пописывает, читатель почитывает». Оказывается, что опубликованное в 1857 г. прекрасное исследование Виолетта, вошедшее буквально в тысячи работ по технологии топлива, цитируемое всеми профессорами и студентами, не было до сих пор добросовестно прочтено. Вот горестные результаты принятой нами системы забивать свои головы цифрами и сведениями, не давая себе труда их продумать.

Таблица 1

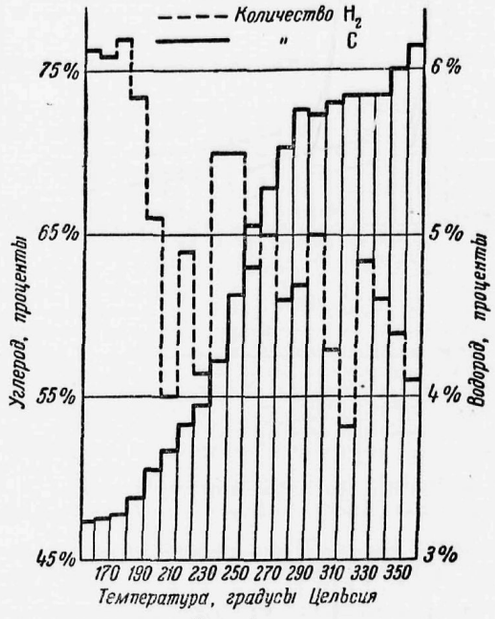
Температура, °Ц	Вес древесного угля в % веса дерева	Убыль в весе древесного угля при повышении температуры на 10° в % веса дерева	Содержание углерода в угле в % веса дерева	Количество углерода в угле в % веса дерева	Убыль в углероде при повышении температуры на 10° в % веса дерева	Содержание водорода в угле в % веса угля	Примечание
1	2	3	4	5	6	7	8
150	—	—	47.51	47.51	—	6.12	Графы 1, 2, 4 и 7 взяты из работы Виолетта (Musprat, т. 4, стр. 365—367). Графы 3, 5 и 6 вычислены автором
160	98	2.0	47.60	46.65	0.36	0.06	
170	94.55	3.45	47.77	45.17	0.48	6.19	
180	88.59	5.96	48.93	43.35	1.62	5.84	
190	81.99	6.60	50.61	41.50	1.85	5.11	
200	77.10	4.89	51.81	39.95	1.55	3.99	
210	73.14	3.96	53.37	39.03	0.92	4.90	
220	67.50	5.64	54.57	36.83	2.20	4.15	
230	55.37	12.13	57.14	31.64	5.19	5.50	
240	50.79	4.58	61.30	31.13	0.51	5.50	
250	49.57	1.22	65.58	32.51	(—1.38)	4.81	
260	40.23	9.34	67.89	27.31	5.21	5.03	
270	37.14	3.09	70.45	26.17	1.14	4.64	
280	36.16	0.98	72.63	26.26	(—0.09)	4.70	
290	34.09	2.07	72.49	24.71	1.55	4.98	
300	33.61	0.48	73.23	24.61	0.10	4.25	
310	32.87	0.74	73.63	24.20	0.41	3.82	
320	32.23	0.64	73.57	23.71	0.49	4.83	
330	31.77	0.46	73.55	23.37	0.34	4.62	
340	31.53	0.24	75.20	23.71	(—0.34)	4.40	
350	29.66	1.87	76.64	22.73	0.98	4.13	

За неимением в Екатеринбурге подлинной работы Виолетта, данные заимствую из Муспрата.

Напоминаю, что Виолетт брал навеску высушенного при 150° грушевого дерева около 130—140 г и сухую перегонку до 350° вел перегретым паром. Такой метод работы отозвался на точности его исследований. Им было определено самое разнообразное количество водорода. Очевидно, часть паров воды поглощалась древесным углем во время его остужи-вания, что путало результаты анализа.

Работа Виолетта может быть сведена в табл. 1

Построим данные этой таблицы в форме графиков. На фиг. 1 имеем графическое изображение изменения содержания углерода и водорода в процентах веса древесного угля (столбцы 4 и 7). График показывает весьма большие колебания в содержании водорода, не подчиненные никакой закономерности, причина чего объяснена выше. Что касается увеличения содержания углерода в угле, то она увеличивается скачками.



Фиг. 1

То же явление неравномерного протекания реакции обугливания можно усмотреть из фиг. 2 изменения веса, полученного при различных температурах угля (столбец 2).

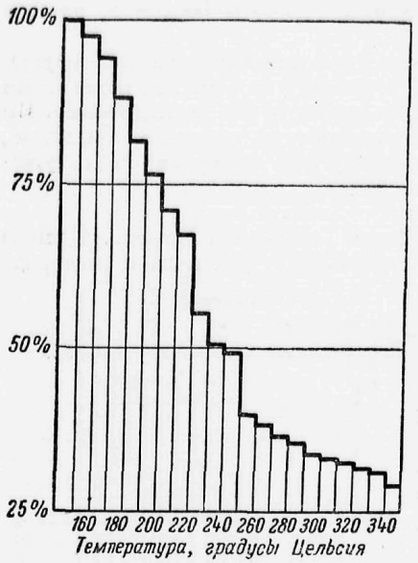
На фиг. 3 нанесены результаты вычисления убыли в весе древесного угля с повышением температуры на 10° в процентах веса дерева (столбец 3). Этот график указывает на несколько максимумов, во время которых сухая перегонка усиливается, и минимумов, когда она затихает.

На фиг. 4 нанесены данные столбца 4, т. е. изменение с повышением температуры веса углерода дерева в процентах веса дерева. Ошибки в определении количества водорода, сделанные Виолеттом, исказили несколько картину, однако и тут ясно видны ступени — максимумы, когда количество углерода резко падает вследствие обильного выделения продуктов сухой перегонки.

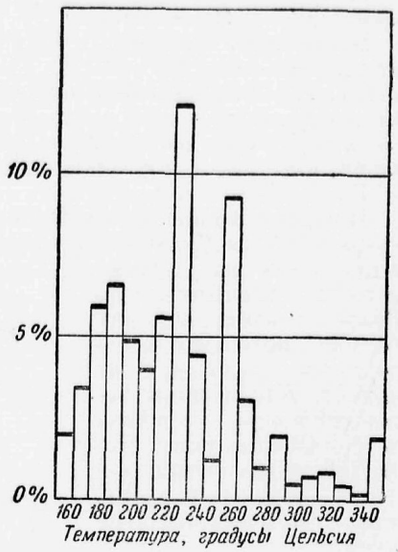
Наконец, фиг. 5 дает иллюстрацию максимумов и минимумов реакции сухой перегонки (столбец 6). Число этих максимумов равно не одному (по Классену), а, вероятно, пяти; их, согласно еще не опубликованным результатам работ Томской лаборатории проф. Г. Г. Поварнина, можно приблизительно истолковать так:

1) около 180° — первое появление CO_2 и фурфурола;

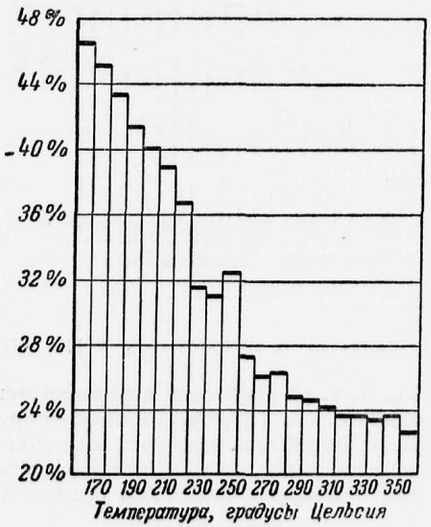
2) 220—230° — выделение около трети всей уксусной кислоты, очень большой концентрации — до 35%;



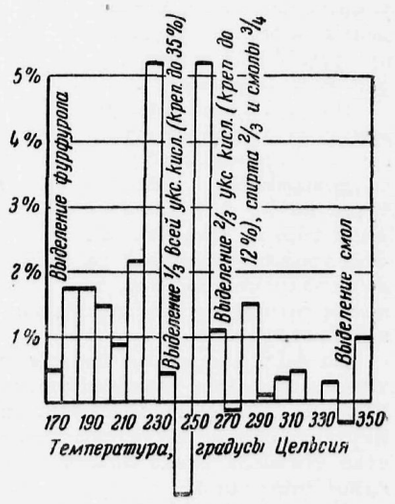
Фиг. 2



Фиг. 3



Фиг. 4



Фиг. 5

3) 255—260° — главный максимум; выделяется около половины жидких погонов; выделение остальной уксусной кислоты, крепостью около 12%; две трети метилового спирта и три четверти смолы. Обильное выделение CO_2, по Классену;

4) намечается еще максимум около 280°, что выделяется — не выяснено; вероятно, газы,

5) и еще максимум около 350°, во время которого выделяются, повидимому, тяжелые феноловые смолы.

Верно ли все, что написано выше, мы, конечно, пока не знаем. Исследование проф. Г.Г. Поварнина тоже не отличается большой определенностью. Цель моей работы заключается в желании обратить внимание современных исследователей, что все их открытия уже выявлены Виолеттом в 1857 г.; что время рекогносцировок кончилось; что для продвижения вперед необходимы методы, более точные, чем применявшиеся в 1857 г., и современным исследователям надо перейти на составление полных химических балансов для каждой температуры в интервалах 10°.

ПРИМЕЧАНИЕ РЕДАКТОРА

Статья напечатана в журнале «Технико-экономический вестник» в 1923 г. (№ 1—3).

Проблема углежжения как для Урала, так и для всего нашего севера является одной из основных с точки зрения организации местной промышленности и хозяйства. Жизнь предъявляет к этому процессу два требования: 1) дать хороший прочный нерастресканный металлургический древесный уголь, б) получить крепкий конденсат продуктов сухой перегонки дерева как сырье для химической переработки.

Печи Шварца без улавливания продуктов сухой перегонки дают хороший древесный уголь; концентрированный конденсат (жижку) получают в американских герметических ретортах. Вопрос о создании устройства, дающего и хороший уголь и крепкий конденсат, и есть тот вопрос, над которым работал В. Е. Грум-Гржимайло около 30 лет. Он сделал за это время 8 проектов непрерывно-действующих углевыжигательных печей, и только последний его проект был осуществлен — его печь была построена, пущена и работала до войны на Ащинском лесохимическом комбинате.

Результат работы этой печи заставляет сделать вывод, что получение хорошего угля и крепкого конденсата не представляет неразрешимой задачи. Уголь, полученный из печи, оказался вполне пригодным для доменной плавки, но был не без трещин. В этом направлении от печи взято еще не все: надо улучшить сушку, увеличить объем сушильной камеры и добиться того, чего хотел и что ставил себе задачей В. Е.: плотного, без трещин, прочного на истирание угля.

С точки зрения крепости погонов печь дала хороший результат, дав погоны из негерметической камеры углежжения той же крепости, что дают герметические американские реторты.

К решению этого последнего вопроса и относятся заметка о работах Виолетта, а также не опубликованная ранее работа (см. след. стр.), конкретизирующая идеи В. Е. об углежжении с изложением основных принципов, положенных в основу проекта его печи, построенной и работавшей на Ащинском комбинате.

УРАЛЬСКАЯ ДРЕВЕСНОУГОЛЬНАЯ ЖЕЛЕЗНАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ В СВЯЗИ С ПРОМЫШЛЕННОСТЬЮ ЛЕСОХИМИЧЕСКОЙ

Вопрос первый: имеет ли будущность уральская железная промышленность на древесном угле или она будет вытеснена в ближайшее время плавкой чугуна на кузнецком или донецком коксе?

За существование древесноугольной плавки на Урале на неопределенное время говорят следующие факты:

На Урале столь много чистых железных руд, что он надолго обеспечен древесноугольным чугуном, с которым коксовый чугун никогда не сравнится. Эти чугуны могут иметь следы серы при одновременном очень малом содержании кремния. Коксовый чугун нормально содержит не менее 0.04% серы, а нередко 0.1% и более: на меньшее количество серы можно рассчитывать только в исключительных случаях в литейных чугунах, содержащих 3—4 % кремния.

Химический состав древесноугольного чугуна дает ему качества, недостижимые для коксового чугуна.

А. Жидкоплавкость, подвижность и способность давать очень тонкие отливки, тогда как сера и графит, выделяющийся из коксового чугуна под влиянием избытка кремния, густят коксовый чугун, который имеет крупное графитистое зерно, рыхлое сложение и малое сопротивление на излом.

Эти свойства серого малокремнистого древесноугольного чугуна делают его незаменимым материалом:

а) для художественного и посудного литья,
б) отливки приборов отопления,
в) тонких чугунных труб,
г) машинного литья большой прочности.

Б. Белый бессернистый маломарганцовистый древесноугольный чугун является незаменимым материалом для ковкого чугуна.

В. Половинчатый древесноугольный чугун — единственно возможный материал для отливок с закаленной поверхностью, как-то: колес Гриффина, каленых валиков, принадлежностей для размалывающих механизмов, железнодорожных стрелок и бесконечного количества всевозможных приборов, сопротивляющихся износу от трения.

Г. Мелкая вкрапленность графита делает применение светлосерого древесноугольного чугуна для рам токарных и других станков, работающих на истирание, особенно ценным.

Д. Отсутствие серы предохраняет чугунные трубы от ржавления и делает особенно ценным применение древесноугольного чугуна для водопроводной и газопроводной сети.

Е. Отсутствие серы делает изложни для отливки стали из древесноугольного чугуна во много раз прочнее изложень из коксового чугуна.

Ж. Передел древесноугольного чугуна в литое железо и сталь упрощает мартеновскую плавку и дает металл, по своим качествам выше обычной нормы. Рынок учитывает качество древесноугольного металла повышением цены на древесноугольный металл 20—40 коп. в пуде, что объясняется, кроме лучших механических качеств, тем, что древесноугольный металл лучше сваривается, не ржавеет (кровельное железо) и является единственно возможным для производства твердых и полутвердых сортов стали. Получить из коксового чугуна подобный металл, как правило, возможно только в электрических печах.

Из сказанного очевидно, что древесноугольная плавка имеет право на существование.

Наша былая идейная и техническая зависимость от Западной Европы заставила нас мало ценить все преимущества древесноугольного металла. Нас заставляли думать, что ввозимый к нам западноевропейский металл даже лучше нашего уральского. Этот угар проходит, и русская техника постепенно начинает отрезвляться от иностранных внушений и, конечно, недалеко время, когда мы будем прилагать все усилия развивать древесноугольную плавку чистых уральских руд.

Итак, за древесным углем качество металла. Но, кроме того, пока и дешевизна.

В настоящее время цена пуда угля на Урале 15—20 коп., при заготовке его в своих печах. Привозный древесный уголь, может подняться до 30 коп. пуд. По этой цене его можно будет заготовить в Тавдинских лесах и в будущем по Северосибирской магистрали до Томска и в Чердынских, Вологодских лесах.

Цена Кузнецкого кокса будет не ниже тех же 32—33 коп. На коксе Урал будет плавить громадное количество сернистых руд, плавить которые на древесном угле не имеет смысла. Конъюнктура плавки на Волковском каменном угле и каменном угле пласта Мощного Кузнецкого бассейна будет несколько выгоднее, ибо за те же 32 коп. на пуд чугуна будет привезено $^1/_2$ кг каменного угля, но вместе с ним и избыток ценного доменного газа, что несколько понизит цену доменного чугуна.

Таким образом, две металлургии — древесноугольная и коксовая — мирно уживутся на Урале, нисколько не конкурируя друг с другом, а помогая друг другу к наибольшей выгоде страны.

Вопрос второй: возможно ли совмещение доменной плавки на древесном угле с лесохимической промышленностью?

Этот вопрос нужно перефразировать так: может ли лесохимическая промышленность быть поставлена так, чтобы дать древесный уголь, пригодный для металлургических целей?

Чтобы ответить, надо ответить на вопрос: что такое металлургический древесный уголь? Ответ для всякого уральского инженера ясен. Металлургическим древесным углем мы называем плотный, без трещин, прочный на истирание уголь. Мелкий, разбитый мелкими поперечными и продольными трещинами, открывающимися наружу, расслоенный по годичным слоям, рыхлый, марающий пальцы древесный уголь будет негоден для доменной плавки.

По способу получения древесный уголь делится на два совершенно определенных класса:

1. Хороший металлургический уголь получается при переугливании предварительно хорошо, до сердцевины, просушенных и прогретых дров. В таком просушенном и прогретом до сердцевины полене реакция обугливания начинается почти одновременно снаружи и внутри полена. Связанная с переугливанием усадка клетчатки идет одновременно во всем полене. Полено делается одновременно во всей своей массе короче и тоньше. Эта одновременность переугливания предупреждает трещины продольные и поперечные с раскрытием их внаружу.

2. Переугливание сырого полена начинается с поверхности. Поверхностные слои переугленного дерева делают невозможной усадку вдоль и поперек полена, и вся поверхность такого полена разбивается трещинами на квадратные шашки. В то же время из середины полена вырываются струи пара, отслаивающие обугленный слой древесины от сырой сердцевины. Когда приходит очередь за обугливанием сердцевинных слоев полена, они дают усадку в свою очередь, и получаются поперечные и продольные трещины, раскрывающиеся и расширяющиеся внутрь, по направлению сердцевинных слоев полена.

Таким образом, полено разбивается пятью системами трещин:

а) поверхностные поперечные, раскрытые внаружу;
б) поверхностные продольные, раскрытые внаружу;
в) трещины расслоения по годичным кольцам;
г) поперечные глубинные, раскрытые внутрь, в сторону сердцевины;
д) продольные глубинные, раскрытые внутрь, в сторону сердцевины.

Кроме того, обугливание полусырого дерева меняет характер самого процесса сухой перегонки. Количество паров жидких погонов, количество неконденсирующихся газов увеличивается весьма значительно; они, повидимому, не успевают выделиться через каналы древесины, прорывают их и дают слабый, сажистый, марающий пальцы уголь. Таким образом, происходит микроскопическое изменение строения древесного угля, влияющее чрезвычайно вредно на реакцию воздействия на уголь угольной кислоты с превращением в окись углерода в верхних частях доменной печи. Такой уголь для древесной доменной плавки мало пригоден. В доменной печи он даст прекрасный доменный газ, но расход его на выплавку чугуна может увеличиться в полтора и два раза против хорошо выжженного угля, хорошо сопротивляющегося: а) раздавливанию и б) воздействию угольной кислоты.

Изучение процесса сухой перегонки учит нас, что, подвергая этому процессу сухое и сырое дерево, мы существенно на процесс не влияем. Обычно в лесохимической промышленности сырые дрова помещаются в казаны и подвергаются резко ведомой сухой перегонке. Таким образом, за счет качества древесного угля увеличивается количество ценных для химиков жидких погонов, но по существу погоны эти не отличаются ни особой крепостью, ни своими составными частями от погонов сухой древесины.

Следовательно, ведение сухой перегонки на металлургический уголь не делает невозможным утилизацию продуктов сухой перегонки. На куб. сажень их будет получаться только меньше, чем в казанах. Но они будут почти того же состава и той же крепости.

Таким образом, из 1 куб. сажени дров лесохимическая промышленность получает 9 пудов уксусной кислоты и 2 пуда спирта при плохом древесном угле.

При получении металлургического угля будет получено, допустим, 7 пудов уксусной кислоты и $1^1/_2$ пуда древесного спирта. Это, однако, составит на 60 млн. пудов древесного угля, или переугливаемые $1^1/_3$ млн. куб. саженей, при 50% дров лиственных пород,—$4^1/_2$ млн. пудов уксусной кислоты и 1 млн. пудов древесного спирта.

Какова будет цена этих продуктов? Теперь эти продукты выпускаются в печах Шварца на воздух. Следовательно, конденсат с уксусной кислотой и спиртом будет стоить столько, сколько будет стоить постройка и содержание печей более сложных, чем печи Шварца.

Во всяком случае, этот побочный продукт углежжения не может быть дорог. Таким образом, на вопрос второй, возможно ли совмещение доменной плавки с лесохимической промышленностью, мы должны ответить: не только возможно, но возникновение лесохимической промышленности рядом с металлургической есть залог их процветания.

Вопрос третий: каковы должны быть основы метода собирания жидких продуктов сухой перегонки в углевыжигательных печах?

Как мы видели выше, работа правильно ведомой углевыжигательной печи распадается на два периода:

1) сушка и прогрев древесины до начала заметного выделения продуктов сухой перегонки при 160°;

2) сухая перегонка, начинающаяся при 160°, получающая полное развитие при 220° и дающая пригодный для доменной плавки древесный уголь при 350—400°.

Практически говоря, продуктов сухой перегонки в интервале 160—200° так мало, что процесс выгодно разделить на две части: 1) до 200° и 2) от 200 до 400°.

В первый период выделится вся влажность дров, во второй — продукты сухой перегонки. В печах Шварца к тем и другим примешиваются топочные газы. Примесь их к газам первого периода безвредна: те и другие надо выпустить на воздух и тем покончить с ними расчеты. Напротив того, примесь к продуктам сухой перегонки топочных газов портит дело утилизации продуктов углежжения настолько, что делает сомнительным даже самую экономическую возможность работы печей Шварца с утилизацией продуктов сухой перегонки. Необходимо второй период или собственно углежжение вести в печах *посудных*, где нагревание печи происходит без примеси топочных газов к продуктам сухой перегонки.

Для иллюстрации приведу результаты подсчетов проф. А. Е. Маковецкого и моих, когда мы друг перед другом защищали принципы своих печей; он — непрерывно действующей шахтной печи, я — печи коридорной.

А. Е. Маковецкий дает такую схему разложения древесины сухой перегонкой:

7200 г сухой древесины дадут: 2500 г угля, или 35%
1650 г газа, или 22.9%
1853 г подсмольной воды, или 25.7%
1177 г смолы, или 16.4%

7200 г 100%

Или на 1 кг сухой древесины:
не конденсирующихся газов

0.156 м³, или 0.23 кг,

конденсирующихся газов

0.293 м³, или 0.26 кг.

Следовательно, всех газов

0.449 м³, или 0.49 кг.

При употреблении дров с 20% влажности получим дополнительно на 1 кг сухой древесины:

паров воды 0.25 кг или 0.31 м³

При употреблении 10% дров на подтопку получим дополнительно еще топочных газов:

по весу — 0.696 кг и по объему — 0.53 м³

из них:

неконденсирующихся — 0.44 м³ — 0.624 кг
конденсирующихся — 0.09 м³ — 0.072 кг

Общий вес газов сухой перегонки, влажности и топочных газов будет на 1 кг сухой древесины:

$$0.23 + 0.26 + 0.25 + 0.696 = 1.436 \text{ кг}$$

Объем всех газов:

$$0.156 + 0.293 + 0.31 + 0.53 = 1.289 \text{ м}^3$$

Объем всех неконденсирующихся газов:

$$0.156 + 0.44 = 0.596 \text{ м}^3$$

Вес неконденсирующихся газов:

$$0.23 + 0.624 = 0.854 \text{ кг}$$

Итак, ведя углежжение так, чтобы в продукты сухой перегонки не попала влажность дров и топочные газы, мы сократим объем всех газов:

с 1.289 до 0.449 м³, т. е. . . . . в 2.9 раза

вес всех газов:

с 1.436 до 0.49 кг, т. е. . . . . в 3.1 раза

объем неконденсирующихся газов:

с 0.596 до 0.156 м³, т. е. . . . . в 3.8 раза

вес неконденсирующихся газов:

с 0.854 до 0.23 кг, т. е. . . . . в 3.7 раза

количество конденсатов, т. е. подсмольной воды, уменьшится:

с 0.582 до 0.26 кг, т. е. . . . . в $2^1/_4$ раза.

Из сказанного следует, что, отводя из углевыжигательной печи только продукты сухой перегонки, минуя продукты сушки и топочные газы, мы:

1) уменьшаем размеры и удешевляем приборы для конденсации в $3^1/_2$ раза;

2) увеличиваем концентрацию растворов в $2^1/_2$ раза.

Результаты фактической проверки работы печей Шварца К. Д. Калясниковым вполне подтверждают эти выводы.

Этим путем можно поднять крепость растворов до 12% $C_2H_4O_2$ и 3% CH_4O при лиственных породах дров.

Вопрос четвертый: основные тезисы, коим должна удовлетворять углевыжигательная печь для получения металлургического древесного угля и продуктов сухой перегонки одновременно.

1. Процесс углежжения надо разделить на две части:
а) сушка дров до 200° Ц,
б) сухая перегонка до 400° Ц.

Все продукты первого периода надо выпускать на воздух. Продукты второго периода должны поступать в конденсаторы.

2. Печи должны быть непрерывнодействующие коридорного типа; причем, печь должна разделяться на три части плотными дверями: 1) на сушильный отдел, где сушка производится непосредственным соприкосновением топочных газов и дров; камера присоединена к дымовой трубе; 2) сухоперегонную часть — печь посудного типа, где топочные газы не должны смешиваться с продуктами сухой перегонки; 3) камеру для остуживания древесного угля для того, чтобы уголь не самонагревался; камера выдает древесный уголь наружу.

3. Неконденсирующиеся газы сухой перегонки должны сжигаться и служить для отопления печи. Для предупреждения взрывов в сухоперегонном отделении и устройствах для конденсации должно поддерживаться давление выше атмосферного.

ПРИМЕЧАНИЕ РЕДАКТОРА

Нигде не опубликованная статья В. Е. Грум-Гржимайло была написана им в апреле 1925 г. См. также примечание на стр. 163.

ПЯТИДЕСЯТИЛЕТИЕ ПЕРВОЙ МАРТЕНОВСКОЙ ПЛАВКИ НА УРАЛЕ В ВОТКИНСКОМ ЗАВОДЕ

Всходя на эту кафедру, я задаю себе вопрос: есть ли смысл в праздновании юбилеев технических событий, хотя бы и большого значения?

Празднуя юбилеи крупных ученых, административных и общественных деятелей, общество хочет отметить заслуги юбиляра и пользуется случаем выразить ему общественную признательность.

В данном случае лицо, которому обязан Урал пуском первой мартеновской печи, отсутствует, так же как и его сотрудники. Среди нас имеется только один человек, видевший и работавший на печи Мартена, пущенной 50 лет назад, — это Валентин Николаевич Варначев, здесь присутствующий. Остальные знакомы с этой печью только по юбилейному сборнику 25-летия мартеновского производства из статьи В. Е. Холостова, ее строителя. И тем не менее на поставленный выше вопрос я отвечаю: такие юбилеи праздновать следует.

Воспоминание о крупном историческом факте потому полезно, что дает случай лишний раз бросить взгляд назад и искать в прошлом указаний для будущего. Движение науки и техники очень часто сравнивают с прокладкой нового пути среди дремучего леса. Изыскатели идут вперед, ведут первую просеку, все время визируя назад на пройденный путь. То же должны делать люди науки, изыскивающие новые пути жизни.

Исходя из этой точки зрения, я принял предложение ознакомить вас с тем, что сделано человечеством за эти 50 лет в технике получения железа из чугуна.

Будущие историки культуры человечества отметят регенеративную печь Сименса как одно из величайших открытий XIX века.

Получение стали на поду было заветной мечтой металлургов XIX века, потому не удивительно, что уже в 1862 г. в Англии Атвудом была сделана попытка получения стали в печи Сименса; она кончилась неудачно, и завод Tudhoe перешел на плавку стали в той же печи в тиглях.

Удалась плавка на поду только П. Мартену, совладельцу завода «Сирениль», около 1864 г. На Парижской выставке 1867 г. были уже выставлены прекрасные изделия из нового тогда металла. Однако не везде и не всегда плавка на поду давала хороший результат. Знаменитый профессор Туннер относился к этому способу весьма скептически. Основанием для такого скептицизма служила неудача австрийского заводчика Майера, купившего способ Мартена, получившего от него все чертежи и мастеров и принужденного бросить эту затею после 4 месяцев неудачных попыток наладить дело.

В России первая печь была построена А. А. Износковым в Сормове в 1870 г., вторая В. Е. Холостовым — в Воткинском заводе в 1871 г., третья печь построена Бек-Гергардом в 1871 г. на заводе Главного общества, четвертая — в Обуховском заводе.

Результаты работы этих печей были различны. Печь Износкова пошла великолепно. При стоимости печи в 17 000 руб. на опыты было истрачено $2^1/_2$ тыс. руб. Чистый доход в первый год превысил 70 000 руб. Было установлено производство стальных отливок, литых снарядов, поковок и первое в России производство бандажей из мартеновской стали.

Из Сормова вышла целая школа мартеновских мастеров. Н. Н. Кузнецов после Сормова устанавливал производства в Путиловском заводе, Балыкове, Александровском сталелитейном и Обуховском заводах.

Д. С. Коновалов из Сормова перешел в Обуховский завод. Что касается плавильщиков и каменщиков, то из Сормова черпали их во все заводы России и Царства Польского; в конце концов, в редком заводе нельзя было встретить учеников первых сормовских мартеновских деятелей.

Совсем другая была судьба воткинского мартена и печи Главного общества. После постройки печи В. Е. Холостов покинул Воткинский завод в 1872 г., и производство это влачило жалкое существование до 1881 г., когда была построена новая печь обновленным техническим составом.

Третья печь на заводе Главного общества тоже скоро остановилась и была сломана. Я не буду утомлять слушателей перечислением удачно и неудачно работавших мартеновских фабрик в России в первые десятилетия. Скажу общее впечатление: среди всех мартеновских мастеров выделялась всегда сормовская школа. Покойный Н. Н. Кузнецов долго справедливо занимал почетное место нашего учителя и руководителя в стальном деле.

П. Мартен первый добился получения хорошей стали, но, повидимому, не уяснил себе причины своего успеха и, дав свое имя процессу, сам скоро сошел со сцены. Теперь, через 50 лет, нам стали ясны общие причины успехов и неудач многих заводов и выяснение их составит предмет моего сообщения вам.

Успех мартеновского производства зависит от двух причин: 1) правильного ведения плавки и 2) исправности печи.

В истории сормовской плавки нас прежде всего поражает удивительная удача работы и великолепные результаты ее.

С первых же шагов Сормово готовит беспузыристые и литые бомбы, литые крестовины, рессорную сталь и, наконец, бандажи, имея в своем распоряжении в виде раскислителя только шведский зеркальный чугун с 8—9% Mn. Из мартеновской печи сверху отливались для рессорной стали слиточки $5'' \times 5''$ весом по 4 пуда. Продолжительность плавки отмечена у Н. Н. Кузнецова 5 ч. 25 м. и 4 ч. 35 м.

Секрет успехов плавки нетрудно прочесть в статье Н. Н. Кузнецова в сборнике по поводу 25-летия мартеновской плавки. Он пишет: «по аналогии с тигельной плавкой и в мартеновской печи сталь выдерживалась после добавки зеркального чугуна более или менее продолжительное время», иногда «не менее 25 минут», «позже выдерживание доводили до 35—45 минут». «Значение выдерживания очень велико для получения стали хороших качеств», мы и старались получить сталь «спелую», как выражались рабочие. В этих немногих словах вся история первого периода мартенования. Вместе с Износковым в Сормово приехали из Князе-Михайловской фабрики в Златоусте два горновщика. С ними А. А. Износков, сам златоустовский инженер, привез в Сормово знание «спелой» стали и весь опыт учеников одного из замечательнейших русских людей знаменитого горного начальника Златоустовских заводов генерала Аносова. Из того же

Златоуста вышли и другие замечательные деятели стального дела: Обухов, построивший Обуховский завод и установивший там при помощи златоустовских мастеров тигельное производство и проковку орудий, и Воронцов, сделавший то же в Мотовилихе.

Корень стального дела во всех способах производства стали один и тот же. Нашей целью является получение «спелой» или «здоровой» стали, в которой нет растворенной в ней закиси железа, сообщающей стали красноломкость. Поэтому как в тигле, так и на поду мы должны вести плавку окислительную в начале процесса и восстановительную в конце, и только в этом случае мы можем рассчитывать получить хорошо раскисленный материал. Вот эта идея, что в ванне мартеновской печи в конце процесса идет целый цикл восстановительных реакций, была совершенно не известна металлургам того времени. То, что знали мастера, руководствовавшиеся только опытом, не укладывалось в голову ученым людям. Н. Н. Кузнецов рассказывал мне свой разговор с проф. Н. А. Иосса. Он спросил его: известен ли ему факт, что в мартеновской печи нетрудно восстановить 0.2—0.3% Si? Н. А. Иосса усумнился в такой возможности и приписал это неверности химического анализа, ибо-де в мартеновской печи господствует реакция окисления. Таковы были взгляды авторитетов науки, и вот причины неуспеха многих инженеров в мартеновской плавке.

В Сормове же, а затем в арендованном А. А. Износковым заводе Главного общества инж. Васильев получил без ферросилиция беспузыристые 11" литые бомбы, содержащие от 0.8 до 0. 95% С, 0.2—0.35% Mn и до 0.2% Si.

Выше я писал, что опыты получения стали на поду не удались Атвуду, которым руководил В. Сименс, и удались Мартену. Почему? Мартен перед введением своего процесса только что ввел в «Сирениль» тигельное производство, в котором добился прекрасных результатов. Его успехи в тигельном производстве обусловили и его успехи в производстве стали на поду.

Лица, не имевшие этой опытности, не знавшие «спелой» стали и процесса поспевания стали в тиглях, неизменно терпели поражение на первых порах в мартеновском производстве. Так было в Воткинском заводе, так было с Бек-Герардом в заводе Главного общества. Так было, вероятно, и с австрийским заводчиком Майером, о котором писал проф. Туннер. Так было и во многих заводах нашего отечества.

Этот краткий очерк дает нам возможность установить полную историю стального дела в России.

В 30-х годах XIX века Аносов вывез из Золингена артель мастеров и установил тигельное производство в Златоусте. Он пошел в этом деле гораздо дальше своих учителей, возродив приготовление в Златоусте литого булата древних. Его внучатные ученики явились насадителями мартеновского производства в России.

Вторым фактором, обусловливающим успех мартеновского производства, является исправность печи. Металлурги очень мало писали и пишут о роли, которую сыграл в истории мартеновского процесса динас, этот материал, употреблявшийся сыздавна в стеклоплавильном производстве в Англии. Несомненно, однако, что если бы Сименс не имел его готовым, то мартеновское производство не осуществилось бы до тех пор, пока динас не был бы найден, ибо до сих пор мы не можем найти материала, равного ему по качеству.

По счастью, он был уже известен. Тем более странно, что В. Е. Холостов свою печь сложил первый раз из кунгурского шамотного кирпича, а затем из кирпича графитистой тигельной массы. А. А. Износков, конечно, такой ошибки не сделал, как не сделал ошибки и не построил устаревшей печи «Сирениль», а купил у Сименса чертежи прекрасной по тому времени печи новой конструкции. Эта скупость и промышленная робость казны чрезвычайно характерна: талантливого инженера, каким был В. Е. Холостов, заставляют строить печь по неизвестно каким образом полученному чертежу, из заведомо непригодного огнеупорного материала, ограничивая его расходы на введение нового производства в 5780 руб. Только энергии и таланту В. Е. Холостова можно приписать, что печь все-таки пошла, и на Венскую выставку 1873 г. уже были посланы образцы стального литья, котельных листов и поковок настолько хороших качеств, что В. Е. Холостов получил бронзовую медаль. Мартен делал набивной из песка под. Этот под постоянно срывало, и установка пода очень затягивала работу печей, им руководимых. Сименс применял наварку пода тонкими слоями. Сормовцам пришлось очень много поработать, прежде чем найден был песок, способный надлежащим образом свариваться, и поды стали стоять удовлетворительно.

Почему? Тогда этого никто не знал.

Настойчивые искания Сименса и его сотрудников в установке способа получить прочный, не ростущий во время кипения ванны под, нам делаются понятны только сейчас, когда мы проникли в сущность происходящих при этом явлений. В поду во время заварки идут те же процессы, что в динасе. Зерна кварца, смоченные при температуре 1300—1400° Ц железисто-глиноземистым стеклом, получающимся от частичного плавления примесей песка, растворяются в этом стекле, а затем выпадают из него в виде нерастворимого в стекле тридимита. Кристаллы тридимита, зарождаясь во многих центрах, сталкиваются между собой, срастаются и в конце концов весь под печи превращается в один кристаллический сросток, в один монолит. Таким образом, на наших глазах разрозненные песчинки перерождаются в кусок горной породы. Стекло, сделав свою работу, остается инертной жидкостью в порах тридимита всей наварки. Обыкновенно оно медленно опускается в глубокие слои пода и продолжает свою работу в глубинах пода, температура коих выше точки плавления стекла.

Совершенно очевидно, что установить новую подину можно только из песка с железистыми и глинистыми примесями. Такой песок и искали сормовцы. В Воткинском заводе В. Е. Холостов не имел руководства Сименса. Из нежелания платить за науку казенные заводы доходили до всего сами, и потому в Вотке заваривали под толченым кварцем. Только в 1881 г. Савинский научил их наваривать под песком. Наука наварки пода до сих пор не дошла до некоторых заводов.

Перед войной мне приходилось убеждать мастеров Мотовилихи бросить наварку пода из кварца и перейти на менее чистый песок.

Рассмотрев причины неудач и удач пионеров мартеновского производства, бросим взгляд на дальнейшую историю стального производства.

Вторым крупнейшим шагом в развитии производства стали на поду было введение основного пода, открывшее возможность получения чистого металла из фосфористых руд. Теоретически вопрос о дефосфоризации был разработан до начала работ Томаса Гилькриста. Заслуга этого последнего состояла в том, что он нашел основной огнеупорный материал, а именно, обожженный при белокалильной жаре полуспавленный доломит, который оказался способным дать монолитную набойку конвертора и пода мартеновской печи. По аналогии с кислым подом и динасом, надо думать, что в этом случае мы тоже получили кристаллический сросток минерала периклаза или магноферрита, но вопрос этот пока остается невыясненным.

Введение основного пода обозначало получение чистого металла из самого разнообразного материала, покупаемого на рынке. Пока ломи (скрапа) было много, мартеновское производство имело смысл, но недостаток ее скоро положил предел развитию этого производства. Выход из этого положения показали бр. Горяиновы, а К. К. Дихман в Юрьеве получил столь высокие результаты при работе рудным процессом, что через несколько лет процесс этот занял доминирующее положение в мире. Из числа дальнейших видоизменений этого процесса нужно упомянуть о работе со сменой шлаков Тиль — Бертрана и завода Геш в качающихся печах Вельмана. В этом направлении пойдет переработка в печах Мартена богатых фосфором и кремнием чугунов Кливленда и томасовских чугунов.

Я не стану говорить о постепенном развитии самой мартеновской печи. За 50 лет печи в 2—3 т сменились 50-тонными печами, как норма, нередки печи в 100 и 200 т. Перейду к вопросу о том, что сулит нам будущее.

Физическая химия раскрыла нам все тайны производства стали. Долгая заводская школа мастерства, изучения этого дела у печи десятками лет, сменилась школьной подготовкой и работами в лаборатории. Теоретически подготовленный молодой инженер, как показала практика, через 3—6 месяцев работы у печи делается мастером своего дела и вполне самостоятельно может вести работу цеха.

Мы переживаем в настоящую минуту в мартеновском производстве время перелома. Новое учение о производстве стали только что начинает проникать в завод из аудиторий и лабораторий. Люди практики только прислушиваются к новым для них идеям и знакомятся с открывающимися для них возможностями. В это время мне кажется полезным уяснить горизонты дела.

Начну с ведения плавки и вопроса, кому принадлежит будущее: мартеновской или электрической печи?

Выше я уже упоминал, что в конце мартеновской плавки, так же как и в конце бессемерования, в ванне развиваются реакции восстановления. Повышение температуры ванны способствует развитию реакции между закисью железа металла и шлака и углеродом, находящимся в ванне. Чем выше температура ванны, тем энергичнее идет эта реакция, тем сильнее кипит и клокочет ванна. Шаг за шагом идет обеднение шлака окислами железа. Наконец, в шлаке может остаться всего несколько процентов окислов железа. Тогда углерод начинает восстановлять в кислой печи кремний в основной хром, марганец и фосфор. По мере кипения ванны углерода становится все меньше и меньше; если мы не получим достаточно высокой температуры ванны, то восстановителем этих примесей на смену углероду может явиться железо, которое превращается при этом опять в закись железа. В результате, начав нагревание ванны для освобождения от закиси железа, при неумеренном повышении температуры мы вновь получаем ванну, насыщенную окислами железа. Совершенно ясно, что восстановительный период плавки должен быть где-то остановлен. Не сделав этого, мы получим нездоровый металл.

Практики уверены, что закись железа, растворенная в металле, может быть раскислена добавками, как-то ферромарганцем, ферросилицием, алюминием, металлическим кальцием. Это глубокое заблуждение. Реакции раскисления идут с выделением тепла, а поэтому нельзя надеяться на их чистую работу в горячей ванне. Часто влияние их обнаруживается только при застывании слитков в изложнях. Единственно правильный метод работы аппарата для получения стали заключается в непрестанном подъеме температуры ванны во все время плавки до момента приближения ее состава к желаемому химическому составу.

В это время, по примеру Тальбота, заведующий плавкой должен начать анализы шлака на железо, металла на углерод. Эти анализы делаются в несколько минут тут же у печи. Соотношение между закисью железа шлака и углеродом металла диктуется температурой ванны, и, руководствуясь этими двумя анализами, мы можем гарантировать получение в мартеновской печи здоровой стали. Введение раскислителей и повышение концентрации марганца, кремния и углерода в стали, соединенные с охлаждением стали во время выпуска в ковш, гарантирует уничтожение в стали последних следов закиси железа. Итак, здоровая сталь есть функция температуры ванны.

Какая же печь лучше гарантирует нам получение здоровой стали? Конечно, та печь, в которой легче управлять температурой. Такова электрическая печь, где поворотом ручки можно произвольно варьировать температуру. Это единственное преимущество электрической печи, ибо высокой температуры нормальная плавка стали не требует. Высокая температура в сталеделии так же вредна, как низкая, и температура мартеновской печи совершенно достаточна для производства стали из чистых чугунов. Способность электрической печи давать высокую температуру полезно используется в стальном производстве только при получении чистого металла из сернистого чугуна. В мартеновской печи нет возможности поднять температуру для расплавления сильно известковистых белых шлаков, обусловливающих получение свободного от серы металла. В этом случае электрическая печь незаменима. При переработке же чистых чугунов и при выделке сортов железа, допускающих две-три сотых серы, электрическая печь особых преимуществ не имеет. Установив анализы металла и шлака во время плавки, по примеру Тальбота, мы можем избегнуть опасного в конце плавки повышения температуры, а следовательно способность электрической печи быстро менять температуру ванны останется неиспользованной.

Итак, обыкновенные потребности плавки вполне удовлетворяются мартеновской печью.

Остается вопрос денег. Слабым местом мартеновской печи являются генераторы. Генераторы на дровах, торфе, малосернистом с тугоплавкой золой крупном каменном буром угле являются прекрасным устройством. Но есть целый ряд горючих, мало пригодных для генераторного процесса, например, егоршинский антрацит, челябинский бурый уголь, горючие сланцы.

Весьма вероятно, что нам в недалеком будущем удастся применять эти сорта в виде пыли, но тогда перед нами станет вопрос, не выгоднее ли в этих случаях будет электрическая печь?

Применение для мартеновской плавки доменного и коксовального газа будет всегда выгоднее, чем обращение его в электрическую энергию и расходование на электроплавку. Я не думаю также, что в России когда-нибудь белый уголь было бы выгодно в крупном масштабе применять для электростали. Запасы его слишком ничтожны в России.[1] Итак, мы видим, что в предстоящей борьбе с электрической печью мартеновская печь имеет

[1] Это положение не соответствует современным взглядам на это дело: по запасам гидроэнергии СССР является страной громадных возможностей. Мощность уже действующих ГЭС определяется большой величиной. Проектируемый на ближайшие пятилетки ввод мощностей ГЭС значительно превосходит существующую мощность.

В. Е. Грум-Гржимайло ошибался, говоря о перспективах использования гидроэнергии для электрометаллургии в СССР, которая несомненно будет развиваться в нашей стране и на базе гидроэнергии.

См. также примечание на стр. 213. — *Прим. ред.*

шансы. Шансы эти значительно увеличатся, если принять в расчет, что самая мартеновская печь может быть значительно улучшена.

Несмотря на то, что прошло уже 11 лет со дня опубликования моей работы о причинах малой огнестойкости динасового кирпича и необходимости приступить к изготовлению более стойкого кирпича, такого кирпича в мире нигде не делается. Когда-нибудь на этот вопрос будет обращено внимание, и тогда срок службы мартеновских печей удвоится, если не утроится.

Размеры мартеновских печей под влиянием гидравлической теории должны подвергнуться также переработке; расходы топлива должны уменьшиться, а производительность печей подняться.

Оборудование современных печей электрическими кранами обеспечивает персонал печи от нервничания при выпуске металла. Неудачная плавка при современном оборудовании может быть спокойно возвращена в печь и сталь доведена до нужной температуры и состава.

Это же оборудование делает возможным работу со сменой шлаков, что особенно ценно при работе на фосфористых и сильно кремнистых чугунах. Этим путем при сранительно небогатых фосфором чугунах могут быть получены шлаки, годные для удобрения. При кремнистых чугунах таким образом достигается уменьшение толщины слоя шлака, покрывающего ванну.

В заключение мне остается бросить взгляд на прошедшие 50 лет и отметить культурные успехи мартеновского производства. Успехи эти весьма велики. Введенный в жизнь усилиями русских инженеров бр. Горяиновых на Брянском заводе и К. К. Дихмана в Юрьевском заводе так называемый рудный процесс внес новую страницу в историю мировой культуры. Из 100 пудов завалки доменного чугуна рудным процессом удается получить около 103—104% литого металла. Пригар железа в мартеновской печи так велик, что мартеновский металл оказывается дешевле бессемеровского и даже томасовского.

Совершилось то, чего металлурги конца прошлого века не могли себе представить. Способ Бессемера, или получения литого металла из чугуна без затраты горючего, склонил голову перед мартеновской печью.

Мы, русские, можем гордиться. За эти 50 лет Россия подарила миру в области производства стали: рудный процесс, гидравлическую теорию печей и теорию перерождения динаса.

Отцы сделали свое дело и крепко надеются, что дети их превзойдут.

ПРИМЕЧАНИЕ РЕДАКТОРА

Эта не опубликованная ранее статья В. Е. Грум-Гржимайло воспроизведена по черновикам, которые он писал, готовясь к докладу на 50-летнем юбилее первой мартеновской плавки на Урале, устроенном в Свердловске в 1921 г. Первая мартеновская плавка в России была произведена в Сормове в 1870 г., т. е. на год раньше, чем в Воткинском заводе на Урале,— 1871 г. Приводимая статья несомненно интересна тем, что она не только останавливается на юбилее и юбилярах, но и является исторической справкой о сталеварении в России в XIX веке. Она как бы суммирует работу предыдущих поколений и словами современника устанавливает самобытность русского сталеварения, добившегося блестящих результатов как по качеству стали, так и по глубине теоретического понимания процесса.

УРАЛЬСКАЯ ЖЕЛЕЗНАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ В ЕЕ ПРОШЛОМ И БУДУЩЕМ

Весной 1918 г. Высшим Советом Народного Хозяйства был объявлен конкурс на разработку проекта по снабжению уральских заводов кузнецким коксом с целью поднятия их производительности до норм полного обеспечения России своим железом. Объявление этого конкурса дало толчок Обществу сибирских инженеров начать разработку так называемого урало-кузнецкого проекта, который не был еще закончен, как осенью 1919 г. инициативной группой профессоров и общественных деятелей в Томске был разработан проект Северной сибирской магистрали: Томск — Тобольск — Верхотурье — Соликамск — Котлас — Сорока,[1] которая, преследуя цель транзита, снабжения Переселенческого управления колонизационным земельным фондом, вывоза за границу громадного количества пиленого леса, по пути обеспечивала уральскую промышленность в неограниченном количестве дешевым древесным углем и создавала на Севере мощную химическую промышленность.

Таким образом, оказывается, что уральская промышленность может получить сразу помощь горючим с двух сторон: кокс Кузнецкого бассейна и древесный уголь с Северной магистрали.

Означенная работа имеет целью установить те принципы, на основании которых должна быть преобразована существующая уральская промышленность, дабы использовать обе представившиеся ей возможности в полной мере.

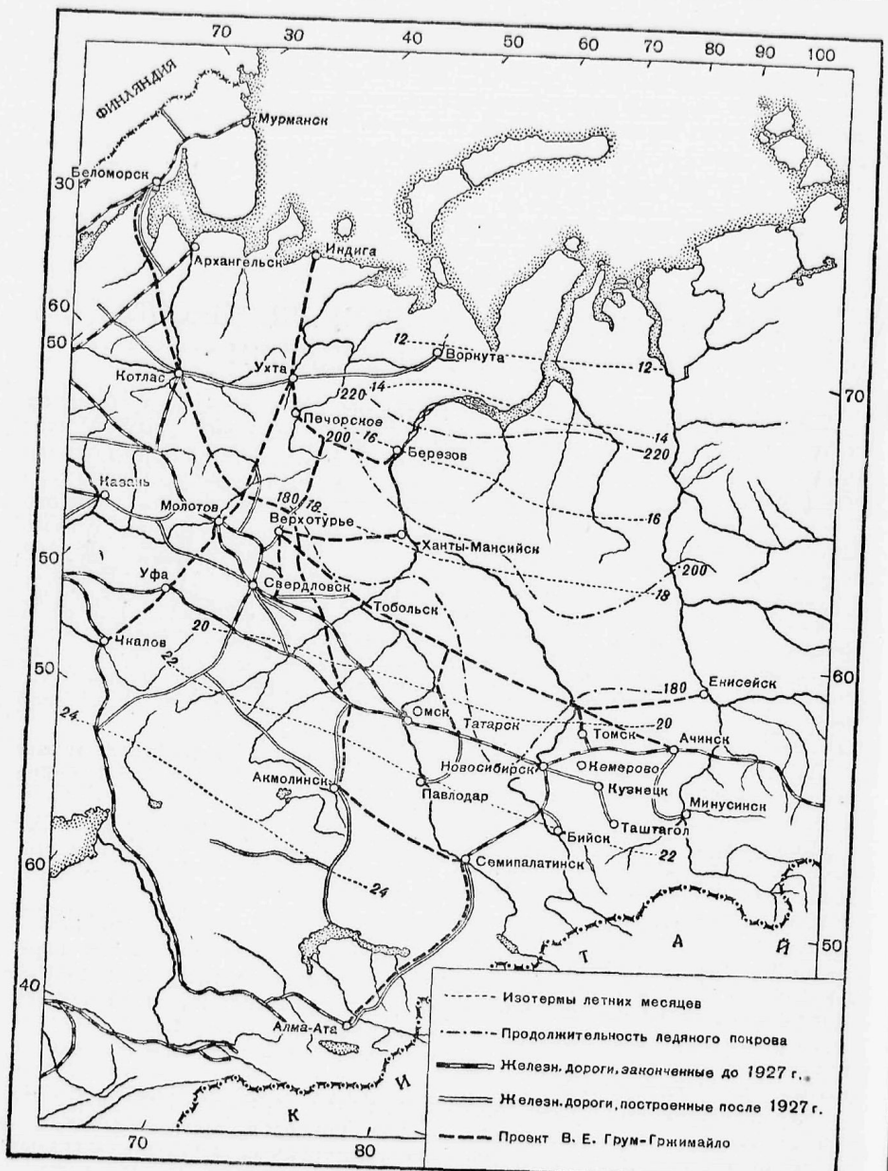
Северная сибирская магистраль в соединении с лесовозными железными дорогами для эксплоатации всего лесного массива открывает перед уральской железной промышленностью возможность получения неограниченного количества древесного угля и, следовательно, неограниченного развития. Урал получает то, чего недоставало ему целое столетие, отсутствие чего угнетало развитие и грозило смертью целой области национальной культуры.

Урало-кузнецкий проект имел своею целью переводом доменной плавки на кокс создание совершенно новой коксовой промышленности и обрекал старую древесноугольную металлургическую промышленность на вымирание.

Теперь обстоятельства радикально изменяются, и в нашу задачу входит решение вопроса, как наилучшим образом использовать эту старую промышленность в интересах создания новой. Надо выделить из старого уклада живые побеги, откинуть всё сгнившее и обеспечить воскресшую древесноугольную промышленность быстрым и правильным развитием.

---

[1] Беломорск.— *Прим. ред.*



Северная сибирская магистраль (*проект В. Е. Грум-Гржимайло*)

Предлагаемая работа построена по нижеследующему плану:

а) дается краткое изложение одной из причин упадка уральской промышленности в прошлом и общепринятых мнений по сему поводу;

б) предлагается новая конструкция этой стороны заводского дела и возрождения промышленности.

Глава 1

На свете есть страна, работающая на древесном угле, в маленьких рассеянных на большом протяжении заводах, очень напоминающая Урал. Однако в ней железная промышленность не влачит жалкого существования. Напротив того, она борется на мировом рынке с колоссами Западной Европы и Америки и побеждает их, ввозя свои произведения в главные мировые центры промышленности и культуры. Эта страна Швеция — поставщица недосягаемого для Европы по качеству железа и стали.

Эта маленькая страна с заводами ничтожной производительности, смело решая труднейшие проблемы металлургии, вызывает справедливое удивление металлургов всего мира.

В суждениях своих об уральской промышленности наши современники обыкновенно сравнивают уральские заводы с западноевропейскими и американскими к невыгоде первых.

Они смотрят на Урал через очки металлургии на минеральном топливе и не находят другого выхода для уральской промышленности, как сломать ее и построить на ее месте промышленность на коксе. Это большая ошибка. Пример Швеции указывает нам на возможность другого решения вопроса.

В середине прошлого столетия шведская железная промышленность находилась накануне полного краха. Катастрофическое падение цен на мировом рынке как следствие открытия новых методов производства (бессемерования, мартенования, томасирования) грозило совершенно погубить слабую древесноугольную промышленность Швеции, поневоле работающую дорого.

Шведы нашли выход из этого положения. Они объединились в научный и экономический трест, провозгласив такой принцип: между шведскими заводами не существует никакой взаимной конкуренции; они объединяются в один организм для борьбы с мировой конкуренцией в области высших сортов стали и железа; что касается дешевого, грязного железа (главное рельсов), то шведы открывают свой рынок для мировой конкуренции, ограничиваясь ничтожной пошлиной.

Для управления объединенными шведскими заводами была учреждена Железная контора, которая распадается на две части: научно-техническую и ведущую экономическую политику заводов.

Научно-технический трест шведов построен на очень разумных началах. В состав Железной конторы входят лушие инженеры страны, содержимые на артельных началах всеми заводами Швеции. Контора снабжена лабораториями и всеми средствами для производства всевозможных научных исследований в области металлургии железа. Каждый завод имеет право за небольшое вознаграждение заказывать в Железной конторе любой проект, любое исследование, вызвать в свой завод специалиста по любой отрасли для разрешения своих задач и устранения трудностей своего производства. Опыт каждого завода есть достояние всех заводов.

Результаты такой научной организации заводского дела оказались изумительными. При посещении мною заводов Швеции я был поражен ничтожным числом систем устройств и удивительною выработкою их деталей.

Осмотрев 24 завода Швеции, я в сущности видел заводы одного владельца. Везде почти одни и те же устройства; все очень скромно и дешево; но работа этих простейших устройств вызывает чувство зависти. Число автоматов очень велико; число людей в заводе ничтожно.

Все устройства носят отпечаток большой выработанности и работы большого мастера.

Однако я видел только часть заводских устройств. Мне охотно показывали и разрешали совершенно свободное изучение целыми днями производств доменного, бессемерования, мартенования, кричного, ковки и прокатки железа в горячем состоянии; по этим производствам имеется прекрасная литература.

Но мне были совершенно недоступны волочильные и штамповочные цехи заводов, составляющие специальность Швеции, предмет ее торговли на мировом рынке и основу ее благосостояния.

Приложение принципа единства работы многих заводов в этой мало изведанной области должно дать еще большие накопления культурного опыта, должно еще лучше обеспечить успех Швеции в борьбе за мировые рынки.

Поставим рядом с этим научным объединением всех технических сил шведских заводов уральскую разрозненность, полное отсутствие местных научных, строительных и проектирующих центров, полное пренебрежение к накоплению заводского опыта и преемственности работы каждого отдельного завода.

Уральская промышленность, имеющая своим результатом 50 миллионов пудов железа в год, не имеет ни в Екатеринбурге, ни в Перми ни одной технической библиотеки, ни одной лаборатории, ни одного технического бюро. Все проекты устройств делаются инженерами завода, или покупаются случайные чертежи в заграничных технических конторах. По этим плохо продуманным проектам строятся установки и пускаются в ход местными силами, часто совершенно без руководства человека специальных знаний. Этим путем ведется древесноугольная промышленность, имеющая задачи, совершенно отличные от промышленности Юга и Европы.

Первая потребность будущих заводов Урала—это научно-техническое их объединение.

Должно провозгласить принцип:

Уральские заводы друг другу не конкуренты. Для древесноугольных заводов существует один конкурент: коксовый металл на Урале, на Юге, в Сибири и во всем мире. Конкурент не в цене, а в качестве металла. Уральская древесноугольная промышленность должна давать железо таких же высоких качеств, как Швеция. Базируясь на чистоте руд и горючего, она должна уметь извлечь из этих даров природы все, что возможно.

Во главе древесноугольной промышленности Урала должно быть поставлено такое же учреждение, как Железная контора в Швеции. Это учреждение должно быть снабжено лабораториями и проектными бюро, способными побить мировой рекорд в качестве выпускаемых изделий.

Скажут, что это звучит слишком громко, что это звучит слишком гордо. История русской металлургии указывает, что сил в России было для сего всегда довольно, но мы не давали нашим большим людям средств и возможности для осуществления их идей. Первый русский металлург и химик М. В. Ломоносов искусственно отвлекался от занятий, к которым его влекло призвание, тем не менее он сделал в металлургии большое открытие. Теория тяги дымовой трубы — его работа. Он первый рассматривал движение пламени, как движение легкой жидкости в тяжелой, и положил основание современной гидравлической теории пламенных печей.

Горный начальник Златоустовских заводов Аносов был в 30—40-х годах первым авторитетом по стали в мире. Он возродил булат древних. Его мемуары по строению стали читаются теперь металлографами, как памятники, оставленные этим предтечей металлографии.

Ныне здравствует Дмитрий Константинович Чернов, этот признанный отец металлографии, учитель великого Осмонда и инженеров Круппа в области термической обработки и строения стали.

Покойный капитан Калакутский — исследователь внутренних натяжений в стали. Его замечательная работа когда-нибудь воскреснет, к сожалению, вероятно под иностранным флагом.

Я упоминаю о русских людях, создавших эпоху в понимании нами законов металлургии, минуя меньшие имена. Не буду также говорить о современниках. Скажу одно, что председатель Iron Steel Institute Hadfield лично мне выражал в Лондоне удивление, с которым на Западе встретили «Журнал Русского металлургического общества». Никто не ожидал, что в России так много сил, способных пролагать новые пути в металлургии.

Сил в России было всегда много. Умом русский человек не обижен, но должна быть организация, способная извлечь из этого ума пользу для Родины. Эту-то организацию надо создать на Урале при возрождении уральской промышленности.

Другая обязанность этой организации — накоплять опыт заводов. Нередко задачи, решенные нами в свое время, результаты, нами полученные, забыты и вновь решаются, иногда хуже, чем решали мы их в свое время.

За примерами ходить недалеко. Модный вопрос о сжигании мелочи егоршинского антрацита был решен сжиганием его на зольной подушке, что теперь забыто. Отливка прокатных валиков с 35% стали, дававшая великолепные результаты в Нижней Салде, забыта. Забыта выделка демидовского пудлингового железа, дававшего 35% удлинения. Разрыв тяговых приборов современных тяжелых поездов указывает, что забывать ее не следовало бы...

Из ярких примеров нашей забывчивости укажу на забытый литой и сварочный булат, золотую насечку в Златоусте, забываемую также пудлинговую сталь, художественное каслинское литье, которым гордилась Россия на всех заграничных выставках.

Такая забывчивость стоит очень дорого русскому народу. Мощное техническое руководство и научная критика и помощь обеспечат наши открытия и приобретения от забвения.

Глава II

Выше мы указали одну из причин отсталости уральской техники. Но эта причина свойственна не только Уралу. Техника во всем мире идет вразброд, и только шведы сумели сорганизоваться так, что при малейших затратах каждого завода он пользуется мощной технической поддержкой первоклассной научной организации.

Но есть и специально русская причина захудалости уральской промышленности, созданной царским правительством на народные деньги.

Урал обладает самыми чистыми в мире рудами, как бы созданными для заводов предметов вооружения и народной обороны. Но на Урале таких заводов очень мало: Ижевский ружейный завод и влачившие жалкое существование б. казенные заводы Горного ведомства: Мотовилиха, Златоуст и заводы б. Гороблагодатского округа. Ни одного частного завода, работающего на Урале на военное и морское ведомства, до войны не было. Суммарная производительность всех уральских заводов для нужд военного и морского ведомств покрывает всего несколько процентов их потребностей.

Взамен того, два эти ведомства создали на берегах Невы целый цикл частных и казенных заводов, исполнявших 80% всех заказов на предметы обороны.

Чем объяснить такой странный, единственный в мире пример строительства заводов на казенные деньги на границе государства, где нет ни первичных материалов, ни местного топлива?

Объяснение простое. Канцелярия артиллерийского и морского ведомств наводнялась представителями частных иностранных заводов военного снаряжения; им давали заказы при условии частичного исполнения этих заказов в России; они предпочитали исполнять их в Петрограде, Риге, Польше и даже в Сосновицах, чем ехать куда-то на Урал. Это было удобно и для чиновников этих ведомств, получавших свою долю участия в выгодах от такой постановки дела.

Таким образом, на народные деньги создавалась совершенно искусственно металлургическая промышленность на окраине государства под выстрелами иностранных пушек. И лишь когда война с Германией стала неизбежной, был издан приказ, дозволявший постройку новых таких заводов только за Волгой, но было уже поздно.

Теперь, когда во владении России осталось только устье Невы, вся эта металлургическая промышленность потеряла окончательный смысл и возбужден вопрос о переносе ее на Урал.

Удивительно то, что во все время строительства петроградских заводов захудалые казенные заводы Урала являлись всегда понижателями весьма высоких цен на предметы военного снаряжения. За это их подавляли всеми законными и незаконными средствами и, не давая денег на их оборудование, строгостями приемки старались доказать всем и каждому, что уральские заводы не способны сделать ничего порядочного, не могут обеспечить безопасность государства в военном отношении.

Такое отношение правительственных агентов к Уралу не должно иметь места. Если организация уральских заводов недостаточно обеспечивает государственную оборону, то она должна быть изменена в таком направлении, чтобы заводы отвечали поставленной им задаче.

Глава III

Одною из характерных особенностей шведской железной промышленности является чрезвычайное развитие правительственной сети железных дорог, обслуживающей лесную Далекарлию, где раскинуты заводики Швеции. Самый маленький заводик имеет на своей территории внутри завода или пару рельсов правительственной железной дороги или пароходное сообщение. Железные дороги приспособились к малой населенности и слабой провозоспособности. Многие станции упрощенного типа. Это домик в два окна с верандой для пассажиров. К приходу поезда начальник станции, он же стрелочник, телеграфист, кассир и сторож, отворяет станцию, пропускает поезд и уходит домой. Прямую противоположность представляет уральское бездорожье.

В 1878 г. проведена Уральская горнозаводская линия: Пермь — Чусовая—Екатеринбург с веткой на Луньевку, и на том железнодорожное строительство прервалось на 20 лет до 1897 г., когда была проведена линия Екатеринбург—Челябинск и Урал присоединился к общеимперской сети.

Период этот совпал с расцветом южной промышленности. Ясно, что цены на железо, временно поддержанные усиленной постройкой железных дорог в Сибири и России, затем должны были пасть.

Тем не менее, однако, правительство не нашло возможным присоединить к правительственной сети заводы Урала за счет казны, а предложило строить железнодорожные ветки заводам на свои средства. Так были построены линии: Нижний Тагил — Нижняя Салда, Лысьва—Калино, Кушва—Надеждинский завод, Пашия—завод, Нижняя Салда—Алапаевск. Многие заводы не нашли кредитов в банках для постройки железных дорог и доселе возят свои грузы гужом.

Такое отношение правительства к нуждам промышленности Урала во время промышленного кризиса 1903—1908 гг. настолько подорвало финансовое положение многих округов, что они были проданы банкам.

Помимо присоединения к железнодорожной сети многие заводы в это же время принуждены были выстроить железные дороги в леса для эксплоатации дальних своих дач и продолжали их строить до последнего времени.

Бездорожье — истинный враг промышленности Урала, и потому вопрос о присоединении фабрик и заводов к общегосударственной сети должен быть поставлен в первую очередь.

Отношение правительства к нуждам Юга и Урала совершенно различно, и уральская промышленность загублена в значительной степени небрежным его отношением. На Урале должна быть основана специальная комиссия изысканий подъездных путей от всех рудников и заводов, как бы малы они ни были, если только эти предприятия имеют будущность. Мощные реки питаются ключами; железнодорожные магистрали должны питаться подъездными путями, а не рассчитывать только на транзит.

Глава IV

Одной из причин упадка уральской железной промышленности весьма часто и не без основания считают тяжесть общих накладных расходов, падающих на заводы. Благодаря громадной территории горнозаводских дач, как источника топлива, уральские заводы являлись крупными плательщиками земства, так как земля была всегда главным предметом земского обложения.

Охрана дач тоже стоит очень дорого. Большое количество заводов малой производительности с очень разносторонней деятельностью вызывает крупные расходы на администрацию. Все вместе составляет непосильное бремя для заводов.

Выход из этого положения обыкновенно видят в насаждении центров большой производительности, имеющих меньшие расходы на администрацию. Однако в этом суждении делается коренная ошибка.

Накладные расходы некоторых крупных заводов бывают нередко больше накладных расходов мелких; дело не в величине производительности завода в целом, а в крупности цехового производства. Большой завод, состоящий из массы мелких цехов, имеет накладные расходы бóльшие, чем маленький завод, состоящий из одного цеха массового производства.

К сожалению, это плохо усваивалось промышленниками и часто в программу завода под влиянием временного спроса очень неосмотрительно вводились все новые и новые цехи вместо развития и улучшения старых. Исходя из этого положения, многие крупные заводы без увеличения тяжести накладных расходов могут быть разделены на органически не связанные между собою части. Возьмем, например, крупный завод кровельного железа. Он удобно может быть разделен на две части:

1) доменные печи, мартен на жидком чугуне, прокатка сутунки из горячих слитков;

2) прокатка сутунки в красные листы; отделка последних в кровельное железо.

Связь между двумя частями завода состоит только в возврате на мартен обрезков сходного железа.

Но кровельное железо требует затраты очень большой мускульной силы, и перед проектирующим завод инженером становится вопрос, что выгоднее:

а) использовать ли население окружных заводов, расположенных по пути следования металла на рынок, и возвращать обрезки на мартен или

б) строить в большом заводе поселок для рабочих и переплачивать пришлым рабочим.

Расчет укажет на выгодность первой комбинации.

Ниже мы увидим, что уральские условия дадут нам возможность защитить на этом основании существование очень небольших заводов специального назначения, например, доменнолитейные заводы, заводы кровельного железа, заводы твердых сортов стали, при условии, однако, что каждый такой завод будет выпускать только один род изделий, представлять органически связанные цехи для выработки одного изделия. Это выгоднее, чем создание монстров, делающих всего *понемногу*.

При изучении цен на продукты железного производства общемирового рынка можно заметить ясную зависимость их от двух факторов:

1) от природных условий производства железа в стране;

2) от технико-промышленно-торгового аппарата страны.

Цена доменного чугуна зависит почти исключительно от цены первичных продуктов: руды, горючего, флюсов. Расходы цехов весьма малы. Технические результаты доменных печей всех стран очень близки между собой. Поэтому цена чугуна совершенно верно характеризует природные ресурсы страны.

Цены прокатанных продуктов зависят от многих причин:

а) совершенства технического оборудования заводов;

б) степени использования этого оборудования, ибо самый совершенный завод, работающий третью своей производительности, не может работать дешево;

в) от организации сбыта.

В какой мере и от чего зависят цены продуктов, видно из нижеследующей табл. 1, вычисленной мной на основании данных, сообщенных инж. Гливицем в «Жел. пром. России» на стр. 97.

Таблица 1

Средние цены за 1908/9 и 1909/10 годы

(в копейках за пуд)

Страны	Чугун	Сортовое железо		Рельсы		Котельное железо		Балки	
		цена пуда	стоимость передела	цена пуда	стоимость передела	цена пуда	стоимость передела	цена пуда	стоимость передела
Германия	51.8	80.6	28.8	—	—	92.7	41.9	84.6	32.8
Соед. Штаты	55.3	100.1	44.8	87.6	32.3	106.4	53.1	106.4	53.1
Англия	46.8	98.1	51.3	85.3	38.5	106.9	60.1	—	—
Россия	44	110	56	112	68	151.5	107.5	116.1	72.1

При рудном процессе из пуда чугуна получается 1 пуд железа, и потому стоимость передела равна разности между ценой выпущенного на рынок пуда железа и пуда чугуна.

Из таблицы видно, что самым дешевым в мире чугуном обладает Россия (Донецкий бассейн), затем идет Англия, Германия и Соединенные Штаты; следовательно, в России природные условия для железной промышленности наиболее благоприятны.

Напротив того, самый дешевый передел наблюдается в Германии. Это указывает на лучшую в мире организацию железной промышленности и торговли Германии.

Южная Россия работает дороже Германии в два, два с половиной раза, и много хуже Англии, стоящей на третьем месте. Между тем, техническое оборудование южнорусских заводов не хуже германских. В чем же секрет такой плохой работы?

В использовании этого оборудования.

Если детализировать предыдущую таблицу и определить цену слитков и стоимость передела в этих четырех странах, то значительной разницы в цене мартеновского передела мы не найдем. Колоссальная разница наблюдается в стоимости передела из слитков в прокатные изделия, что зависит опять-таки не от устройств прокатных фабрик, а от организации их работ и их производительности.

Для исполнения заказа на данный сорт, а число сортов ассортимента прокатного завода около пятисот, нужно:

1) уложить валы и собрать все скамейки и проводки;

2) выверить их установку путем пробной прокатки и согреть валы;

3) исполнить заказ;

4) убрать все проводки и вынуть валы.

Некоторые сорта требуют смены валов одной клетки, другие двух клетей и даже трех клетей.

В общем переход с сорта на сорт задерживает работу стана минимум на 3 часа — иногда на всю смену. С прокаткой сортов, которые катаются часто и помногу, налаживаются скоро. С мелкими, редкими заказами возятся очень долго.

Таковы условия работы прокатной фабрики. Ясно, что для того, чтобы работать дешево, надо раз положить валы и, установив прокатку, работать до тех пор, пока не износятся валы, т. е. выкатать на паре несколько десятков тысяч пудов в один прием.

Так в России работать удается только рельсы, проволоку. Что же касается прокатки сортового железа, то для такой работы нужна специальная организация, до которой мы еще не дожили и вследствие отсутствия которой мы работаем в России гораздо дороже, чем в Германии.

В Германии я видел две системы организации работы:

1. Завод Пэн около Ганновера работает только двутавровые и швеллерные балки всех размеров. Работа идет на склад. Раз валы положены, то в них катаются балки до полного износа валов. Нерезанные балки из фабрики поступают на склад, имеющий в длину 4 км. На этом складе лежит постоянно несколько миллионов пудов балок. Все заказы по длинам исполняются складом и не доходят до управителя прокатного завода.

В его обязанность входит только поддерживать наличность балок в складах.

Очевидно, при такой организации фабрика дает максимум своей производительности и передел стоит очень дешево, но в складе надо держать большую наличность прокатанного металла, т. е. время оборота капитала увеличено.

2. Другую систему я видел в Лотарингии в заводах бр. Вендель. Прокатная фабрика имела пять станов с пятью прокатными машинами, одну печь и одну артель рабочих в работе. Магазина в заводе не было. Все пять станов в любой момент налажены на работу. Если приходилось на одном стане менять валы и подготовлять прокатку нового сорта, то к услугам заведующего были другие четыре стана. Эта фабрика была приспособлена к быстрому исполнению мелких заказов. Расходов на магазин нет, оборот капитала ускоренный, но зато оборудование фабрики стоит очень дорого. Вероятно, дорого стоит и содержание фабрики.

В трестированной промышленности нужно перейти на первую систему завода Пэн, довести идею треста южных заводов до распределения всего ассортимента по заводам Юга. Все южные заводы работают весь ассортимент, и потому работают весьма дорого.

Из сказанного очевидно, что, организуя новую уральскую промышленность, мы должны перейти на массовую прокатку всего железа данного размера в одном заводе. Ассортимент свыше 500 сортов надо разделить на специальности, и каждая специальность должна исполняться только одним прокатным станом для всей России.

В предположенном ниже распределении заводов по Уралу сортовое железо намечалось в Кушвинском заводе, в Надеждинском и Чусовой, в Среднем Урале и в Белорецком заводе (или в Уфе) в Южном Урале. Установив в интересах транспорта один комплект станов в Среднем Урале, а другой в Южном, мы получим настолько дешевое железо, что цена 80—90 коп. франко-завод станет для России нормальной.

Таким образом, исчезнет основная причина бездоходности выделки сортового железа на Урале, где каждый завод прилагал все усилия исполнять весь ассортимент на сортовое железо, причем заказ на вагон какого-либо сорта считался столь серьезным, что специально для его исполнения укладывались валы.

В заключение надо сказать несколько слов о казенных заказах. В России они оплачиваются всегда по безобразно высоким ценам. Почему? Указывают всегда на алчность заводчиков, которые забаррикадировались законом, обязывающим сдавать казенные заказы русским предприятиям. Цены на казенные заказы действительно высоки, но причина этого явления лежит совсем не в алчности заводчиков, а в недостатках организации казенных заготовок.

Всякий завод, всякое предприятие может работать выгодно только при помощи полной непрерывной нагрузки всех его устройств. Нельзя работать выгодно с неполной нагрузкой, хотя бы и непрерывно или с интервалами в работе. Накладные расходы заводов так велики, что они съедят всякую прибыль, как бы она ни была велика. Этого простого обстоятельства не могли понять государственные люди нашего прошлого.

Возьмите любую отрасль казенного хозяйства. У нас всегда периоды лихорадочного строительства сменяются периодами апатии. Во время оживления деятельности и подъема строительства заказы льются, как из рога изобилия. Создаются новые поставщики для удовлетворения неотложных нужд министерств.

Через два-три года все заводы, и старые и новые, исполнивши «экстренные», «неотложные» заказы, сидят без заказа и проедают все барыши, полученные от заказов. При следующем подъеме казенного строительства заводы назначают уже «безумные» цены на свои изделия. Министерства приходят в ужас от «алчности» заводов и ищут новых поставщиков

и, к сожалению, нередко их находят. Однако эти новые поставщики после первого заказа тоже переходят в разряд «алчных». Такое превращение диктуется жизнью.

Посмотрите в отчеты поставщиков казны. Доходов нет. Да потому, что казна не дает им возможности работать равномерно при полной нагрузке их устройств, когда только и можно работать дешево и с прибылью.

Кому была выгодна такая политика казны в области промышленности? Биржевым зайцам и «дельцам» в министерствах. В периоды затишья строительства и вынужденной пониженной производительности заводов, после усиленных хлопот частным заводам давалась работа в счет будущих заказов под банковский кредит. При такой работе заводы оплачивали, с одной стороны, проценты за ссуду, с другой,—«услуги» лиц, дававших разрешения, или их посредников. Все эти расходы в конце концов ложились на плечи казны — подъемом цен на изделия.

Периоды затишья губили в равной мере и казенные заводы, поднимая цену их изделий и нарушая их роль регуляторов цен на празительственные заказы. Вот правдивая грустная картинка нашего казенного хозяйства. Где же выход?

Выход весьма простой.

Правительство должно наметить многолетние программы казенного строительства. Заказы должны раздаваться многолетние для развития полной производительности заводов. Задолго до срока окончания сделанных заказов должны быть выработаны новые заказы на новые сроки. Вот порядок, который должен быть применен для казенных заказов.

Но мы видели, что продукты железного производства естественно тяготеют к другой форме экономической политики, к трестированию всей железной промышленности.

Наше общество боится идеи треста, не различая двух видов треста:

1) трест торгово-спекулятивный,

2) трест торгово-промышленный.

Цель первого — объединение всей торговли каким-либо товаром в одних руках с целью поднятия цен и увеличения прибылей торговца-спекулянта.

Цель второго — объединение всего производства с целью понижения цен производства товара. Этим путем прибыль предприятия увеличивается даже при понижении цены товара на рынке. В этом тресте элементов спекуляции нет.

Трест железной промышленности относится ко второму типу и не опасен для потребителя, при условии снятия пошлин на привозное из-за границы железо или введения умеренной таможенной охраны.

Иностранцы — владельцы русской железной промышленности — могут спекулятивно использовать только совершенно определенную легко учитываемую выгоду от природных богатств России. Чтобы быть ясным, вернемся к табл. 1.

Допустим, что в России действует заграничный трест. Мы снимаем пошлину на железо и получаем его по ценам германского рынка.

Но германский рынок исходит из цены чугуна 51.8 коп., а в России цена чугуна 44 коп., следовательно мы уплатим лишнее владельцам русской промышленности только 51.8—44 =7.8 коп.

Я не касаюсь вопросов уплаты за транспорт. Этот вопрос потребует более детального рассмотрения тогда, когда вопрос о тресте будет поставлен на обсуждение.

Глава V

Несомненно, что причиною отсталости и захудания заводов Урала было плохое использование качеств древесноугольного чугуна и железа. В этом отношении уральские промышленники оказались недостаточно осведомленными и недостаточно энергичными. На некоторые неиспользованные возможности, которые дает древесноугольный чистый чугун со следами серы и чистое бессернистое железо и сталь, я здесь укажу:

1. Знаменитые станки Витворта делались в свое время из древесноугольного чугуна, представляющего незаменимый материал для машинного литья, для рам токарных станков, паровых цилиндров паровозов, поршневых пружин и других частей машин, где чугун работает на истирание. Мелкозернистость, происходящая от малых размеров графитовых листочков светлосерого древесноугольного чугуна, ставит этот материал на недосягаемую высоту сравнительно с чугуном коксовым.

2. То же должно сказать о необычайной прочности пушечного снарядного древесноугольного чугуна, т. е. машинных частей, работающих на изгиб, растяжение и удар.

3. Следы серы делают этот чугун незаменимым при употреблении в изложнях для отливки стали, когда чугун подвергается последовательным накаливаниям и остуживаниям.

Изложни Симского завода из бакальских руд или гороблагодатских выдерживают до 400 плавок против 40 плавок, выдерживаемых изложнями из коксового чугуна. То же надо сказать о грушах при прокатке сварных труб.

4. Из древесноугольного чугуна льют вагонные колеса Гриффина, которые в Соединенных Штатах вытесняют колеса с бандажами, как лучше работающие на железных дорогах. При вагонном парке России в 470 000 вагонов, ежегодное потребление колес Гриффина могло бы быть около 3.5 млн. пуд.

5. Успешность отливки чугунной простой и эмалированной посуды всецело зависит от степени чистоты чугуна от серы. Сернистый чугун густ и не выполняет формы. Древесноугольный чугун настолько жидок, что способен дать художественное литье, недосягаемое для заводов на коксе.

6. Прокатные валы, работающие на истирание, изгиб, подверженные поверхностному нагреванию во время прокатки, требуют применения древесноугольного чугуна. Валы с закаленными поверхностями удаются только из древесноугольного чугуна.

7. В последние годы в европейской литературе поднят вопрос об усиленном ржавлении чугунных водопроводных и газовых труб вследствие заземления многих электрических установок в городах. Чугунные трубы из чугуна, содержащего следы серы, конечно, лучше сопротивляются ржавлению, чем отлитые из коксового чугуна.

8. Бакальские руды настолько чисты, что дают возможность получения на кислом поду твердой стали. Твердую сталь можно получить и на основном поду, но сталь, приближающуюся по качествам к тигельной, сталь совершенно здоровую, — без избытка раскислителей, можно получить только на кислом поду.

Поэтому на Урале, в частности в районе Бакала, должно бы развиться:

а) производство инструментальной стали,

б) бандажное, рессорное, осевое производства,

в) производство стальных отливок,

г) все предметы обороны государства.

Заводы Обуховский и Ижорский, правда, выписывали в Петроград саткинский и балашевский чугун, получение коего было их монополией, но для полной успешности их работы этого было мало.

При производстве орудий, брони, снарядов и пр. на пуд выпущенного из завода металла получается несколько пудов обсечек, стружки, прибылей и пр., и один и тот же килограмм стали, при переработке своей ломи ранее выпуска из завода в виде готового изделия, побывает в мартеновской печи несколько раз. Такая повторная переплавка для обыкновенного железа не очень опасна. Мы хорошо знаем действие на закись железа раскислителей и восстановительных реакций в конце мартеновской плавки и с порчей железа при переплавке сумеем справиться.

Совсем другое дело — примеси хрома и никеля. Все лица, работавшие с этой сталью, убеждены, что при многократной переплавке такой стали часть хрома переходит в низшие степени его окисления, растворяется в стали и портит ее качество.

Поэтому для особенно ответственных изделий принято делать плавки без ломи, заключающей хром и никель. Искреннее желание инженеров этих заводов — никогда не употреблять для ответственных изделий своей ломи, а работать всегда на чистом чугуне, железе, металлическом никеле и феррохроме.

Расположение заводов государственной обороны на Урале могло бы удовлетворить подобное пожелание. Допустим, что Обуховский завод расположен в Миасе. Все чистые концы сортового железа и стали, выделанных из бакальских руд, направляются в Миас. Вся хромоникелевая ломь посылается в Златоуст или в Катав, где с пользой для дела превращается в ходовые сорта инструментальной и рессорной стали, в оси, бандажи и пр. и выпускается на рынок. Таким образом, пойдет непрерывное возобновление первичных материалов заводов народной обороны.

9. Металлографическое исследование поломки орудийных осей, автомобильных коленчатых валов и других высокоответственных изделий, где металл работает в пределе своей прочности, указало, что причиною этих аварий всегда является ликвация, т. е. концентрация большей части примесей, бывших в стали, по оси слитка, в частях его, стынущих последними.

Устранить ликвацию мы не можем, но ослабить ее подбором особенно чистых материалов возможно. Вот причина необычайных требований, предъявляемых к металлу не только заводами народной обороны, но и машиностроением. Например, коленчатый вал реверсивной прокатной машины Эрхардта и Земера, поставленной в Нижней Салде, был сделан в Германии из тигельной стали на заводе Круппа, стоил безумных денег и все-таки сломался.

Поэтому нечего удивляться, когда при содержании серы более 0.01% партия чугуна или ломи считается непригодной для ответственных изделий.

Но ликвация играет роль и при сдаче самого обыденного сортового железа. Стоит только из оси полосы самого лучшего южного железа вырезать пробный брусок, как неизбежно будут получены столь плохие результаты на разрыв, что партия будет забракована.

Общество «Продамета» забаррикадировалось от такой возможности следующими правилами (прейскурант 1918 г.) приемки его сортового железа.

Круглое и квадратное литое железо или сталь при диаметре 50 мм, фасонное и полосовое более 20 мм испытывается на разрыв после предварительной прокатки или проковки бруска до вышеупомянутых размеров. Бруски должны быть отожжены при температуре 750—800° Ц. Этими

правилами запрещается вытачивать или выстрагивать из крупной или толстой сортины бруски, чтобы не срезать на станке лучший слой поверхностного металла и не дать возможности испытать металл одного ликвационного осевого слоя.

Этим правилом «Продамета» говорит: «Хотите пробовать, пробуйте металл всей сортины, и дурной и хороший вместе».

Однако, когда из этого металла будет выточена какая-нибудь машинная часть, то какой слой попадет в работающее сечение? Кто может это сказать? Чтобы быть логичным, надо запретить строителям срезку на станках чистых внешних слоев прокатных изделий, а кузнецам высечку их, рекомендуя ковать все изделия, применяя принцип правильного уменьшения всего сечения прокатанной полосы.

Может, такое запрещение будет правильно, но оно удорожит машины во много раз. Выгоднее купить железо с такой слабой ликвацией, чтобы его можно было резать во всех направлениях, не думая о ликвации. Такое железо может быть только древесноугольным или из электрических печей.

Из сказанного очевидно, что древесноугольный чистый металл представляет драгоценный, единственный материал для машиностроения. Наши многочисленные поломки машин и всяких устройств происходят только потому, что мы не отдаем себе ясного представления в его ценности и неосмотрительно заменяем его коксовым с ясно выраженной ликвацией.

10. Драгоценным качеством кричного и пудлингового металла была их легкая сварка. Жизнь учла эту возможность, и сварка вошла в наш жизненный обиход, сделалась необходимой. Несваривающееся железо — это непригодное для жизни железо. Например, несваривающееся шинное железо. Как оковать таким железом колеса простой телеги?

Тем не менее общество «Продамета» пишет для южного железа (прейскурант 1917 г.):

«Сортовое и фасонное железо марки «торговые» общество поставляет согласно с выработанными рынком требованиями, но не гарантирует результатов испытания ни на разрыв, ни на изгиб, ни на сварку».

Далее в прейскуранте, однако, помещены прибавки за размеры такого шинного и полушинного железа. Кто покупает такое железо? А купивши, как ездит на телеге?

Снабжение потребителей несваривающимся литым железом отразилось на массовом увеличении железнодорожных несчастий вследствие разрыва тяговых приборов поездов. Силою обстоятельств технический отдел Управления железными дорогами должен будет пересмотреть вопрос о сварке литого железа.

Явление сварки изучено весьма мало. Что мешает литому железу свариваться — в точности неизвестно, вероятно красноломкость при температуре, когда сварка, т. е. слипание зерен железа своими поверхностями, происходит под небольшим давлением.

Причина же красноломкости есть сосредоточие *в оболочках* зерен эвтектики FeS + FeO, плавящейся при температуре около 1000° Ц. Мой личный опыт над сваркой бессернистого демидовского мартеновского железа указал мне, что при сварке *выпуклыми стыками* для удаления с поверхности сваривающихся полос пленки шлака, за прочность круглого железа 1.5″, сваренного на руках, можно поручиться.

Такая полоса загибалась мною без отказа много раз подряд под паровым молотом в месте сварки на 180° до полного соприкосновения по всей длине.

Посмотрим, что говорит прейскурант «Продаметы» 1917 г. о сварке. Общество «Продамета» различает три степени свариваемости:

а) удовлетворительную,

б) вполне удовлетворительную,

в) превосходную.

Чем различаются эти три степени, общество в своем прейскуранте не сообщает, не описывает и проб на сварку.

Засим, на стр. 8 «общество гарантирует сварку только при надлежащих приемах работы». Каких? Об этом общество умалчивает. На практике дело сводится к следующему: в крупных центрах торговли общество имеет своих кузнецов, художников сварки, сваривающих спорные полосы на глазах покупателя.

Однако это нисколько не гарантирует легкую сварку в сельской кузнице.

Интересны прибавки за качество мягкого литого железа общества «Продамета». Вместо химического состава общество сообщает покупателям только марки своего железа (табл. 2).

Таблица 2

Марки	Сопротивление на разрыв, кг/мм²	Удлинение, %	Свариваемость	Прибавки
ММ	33—42	25	Удовлетвор.	При толщине:
ММС	—	—	Вполне удовл.	12.5мм — 25 коп.
				12.5 — 35 » — 40 »
				свыше 35 » — 60 »
МММ	30—40	20	Удовлетвор.	20 коп.
				При толщине:
МММС	30—40	26	Превосходная	12.5 мм—35 коп.
				12.5 — 35 » — 50 »
				свыше 35 » — 70 »

Итак, на коксовое железо, по качеству подобное древесноугольному, общество «Продамета» требует прибавку от 35 до 70 коп., или в среднем 50 коп. на пуд.

Из сказанного очевидно, какое национальное богатство представляет собой древесноугольное железо из чистых уральских руд. Ниже мы увидим, что при правильной организации заводов это железо будет не дороже железа Юга, прибавка же на пуд в 50 коп. даст ему возможность конкурировать с коксовым в Харькове и Екатеринославе.

Вот эту возможность уральская помышленность в свое время не учитывала. Если бы эта возможность была учтена коммерческими отделами уральских заводов, они не хирели бы так, как хирели в последние годы.

Вопросом о сварке уральского железа не занимается никто. Единственная моя работа была напечатана в «Уральском горном обозрении» 20 лет назад. Я был тогда управителем Верхне-Салдинского завода и был заинтересован ввести мартеновское железо на московский рынок, что и было мною достигнуто.

На этом и кончилась торговая агитация уральских заводов в пользу несравненных качеств уральского литого железа.

Любопытно, что, составляя телеграфную марку, как это теперь принято, для древесноугольного железа, мы получим марку «Друг», что

совершенно точно передает сущность и характер этого железа. Древесный угол — это действительно друг русского народа.

Как же мирится с плохой свариваемостью коксового литого железа западноевропейский рынок?

Оказывается, что свариваемость представляет столь драгоценное качество железа, что германский рынок уплачивает за пудлинговое железо гораздо более плохих механических качеств, чем литое железо, на 25 коп. в пуде дороже против литого, что видно из такой справки для Германии (табл. 3).

Таблица 3

Биржевые цены	1908 г.	1909 г.	1910 г.	1911 г.	1912 г.	1913 г.
Сортового литого железа за пуд	80.0	81.6	84.7	80.9	80.9	87.0
Сортового пудлингового .	95.5	96.3	100	102.4	101.6	112.8
Разность	15.5	14.7	15.3	21.5	20.7	25.8

Эта таблица убеждает нас в том, что прибавки за сварку «Продамета» серьезно обоснованы.

В России пудлинговое железо делается редкостью. Русский безграмотный рынок не разобрался в требованиях деревни и расценивает пудлинговое и литое железо одинаково. Это заставило заводчиков бросить пудлингование и перейти на литое железо.

Кто пострадал при этом? Конечно, потребитель, которому вместо привычного сваривающегося железа подсунули плохо сваривающееся южное железо. Пострадали и уральские заводы, не сумевшие защитить свой чистый прекрасно сваривающийся продукт от конкуренции плохого южного железа. Такого порядка в будущем быть не должно.

11. Выпуская на рынок «торговое» железо, общество «Продамета» *не гарантирует* внешний вид полос его.

За приемку «торгового» железа по наружному виду назначена приплата в 10 коп.

Из сказанного очевидно, что на торговом железе нередки рванины и плены. Происхождение их совершенно определенно — это закатанные трещины красноломкости.

Марка ММ с прибавкой 20 коп. на пуд уже дает гарантию, что при светлокрасном калении бруски могут быть загнуты на 180° до полного соприкосновения без трещин. Но эта прибавка не дает гарантий кузнечной пробы Министерства путей сообщения.

Некрасноломкий металл в конце концов только марок ММС и МММС с прибавками до 70 коп. в пуде.

Существует мнение, что красноломкость южного железа не очень вредна, ибо железо в обыденной жизни работает в холодном состоянии; такое мнение неверно. При превращении красноломкого металла в изделия, например при ковке, в нем возможны и наблюдаются мелкие, часто невидимые глазом трещины.

Эти трещинки, как надсечки на полосе, могут быть роковыми и вызвать поломку изделия, например оси. Древесноугольное железо застраховано от трещин.

12. Трещины при закалке. Для того, чтобы уменьшить красноломкость литого металла, в него вводят от 0.6 до 1.0% марганца. Тогда сера, находящаяся в металле в виде FeS, переходит во время кристаллизации в соединение MnS. Сернистый марганец плавится при температуре выше температур плавления стали и находится в нем в виде пылинок, окруженных кольцом феррита, что нарушает равномерность сложения стали и ухудшает разрывные испытания.

При закалке твердой стали включения в стали сернистого марганца оказываются чрезвычайно вредными: от них начинаются трещинки при закалке. Вот причина столь строгих требований относительно серы к инструментальной стали. В закаленном инструменте внутренние натяжения достигают такой величины, что малейшая трещина внутри изделия кончается разрывом изделия по всему сечению.

Непрочность сернистых изложень и трещины при закалке, может быть, имеют одну и ту же, нам пока неизвестную причину: высказываются предположения о диморфизме MnS, связанном с изменением объема.

Во всяком случае *совершенно ясно, что инструментальная сталь должна быть вся древесноугольной.*

13. О древесноугольном уральском кровельном железе писано было так много, что о преимуществах нержавеющего уральского кровельного железа особенно распространяться нет оснований. Харьковская биржа расценивает уральское железо дороже южного на 40 коп. в пуде.

14. Весьма интересно указание инженеров, работающих на реках Волге и Оби. Замечено, что корпуса очень старых судов, плавающих лет по сорок, находятся в несравненно лучшем состоянии, чем корпуса более новых.

Для лиц, знающих Урал, дело совершенно ясно: 40 лет назад речные суда строились из железа: мартеновского или кричного демидовского, может быть, пудлингового или литого воткинского, мотовилихинского или сормовского и во всяком случае железа древесноугольного. Теперь покупают коксовое железо — дешевку с Юга. В нем, конечно, есть несколько сотых серы, которые играют решающую роль в процессе ржавления. FeS и MnS окисляются в сернокислые соли и дают центры ржавления.

То же должно сказать о ржавлении цистерн, баков и т. п., но исследований по этому поводу уральские заводы не делают, не подозревая, какой рынок для своего железа они упускают таким образом.

15. Особенно важно ржавление обсадных труб для буровых работ, водопроводов, нефтепроводов, парового и водяного отопления.

Не менее важно оно и в железнодорожных мостах и клепаных гражданских сооружениях, на что пока не обращается никакого внимания. Однако такое положение не должно иметь места; исследование ржавления — дело будущей возрождающейся уральской промышленности.

Все эти многочисленные примеры, когда продукты древесноугольного производства представляют материал, стоящий неизмеримо выше продуктов коксового производства, указывают нам на косность, безграмотность бывших владельцев уральских заводов.

Уральские заводы даже в том состоянии, в котором они были, но в руках более энергичных, более знающих людей не должны были влачить столь грустное существование. Будущий Урал должен учесть те возможности, которые дает ему чистота его чугуна и металла, должен научиться и поучить русский народ их использовать и ценить, как особое благо, данное ему природой. Путь для этого один: научное освещение и изучение свойств древесноугольного материала сравнительно с коксовым; опре-

деление ими обеспечиваемых промышленных возможностей; тщательная разработка проектов и строго научное руководство при ведении производств заводов.

Одним словом, этому делу должна быть дана организация, подобная организации шведской металлургической промышленности.

Глава VI

В главе V мы видели, какие широкие возможности имеет чистое древесноугольное железо перед коксовым и как шведы правы, когда они берегут свою древесноугольную промышленность и чистоту шведского железа.

Возможности, открывающиеся перед древесноугольным железом, еще больше, если мы примем в расчет, что южная промышленность находится накануне весьма крупного сдвига в смысле ухудшения качеств своего железа.

Южная Россия имеет только два серьезных месторождения:

1) Кривой Рог с запасом железа в 3.25 млрд. пуда[1]
2) Керчь » » » в 10.93 » »

Выделывается в год из криворожской руды 0.139 млрд. пуд.
» » » » керченской » 0.006 » »

Однако долго так продолжаться не может. Должны быть приняты меры против столь энергичного вычерпывания Криворожского месторождения, и южные заводы должны будут перейти в конце концов на керченские руды.

Задача эта технически очень трудная: руды эти мелкие и мышьяковистые. Удаление мышьяка возможно при кальцинации руд, т. е. при обжиге известняковистых брикетов, очень дорогой и мешкотной работе, и все-таки керченское железо будет всегда хуже криворожского.

Таким образом, при осуществлении проекта северных путей, Урало-Кузнецкого комбината и при переходе большей части южной промышленности на керченские руды, мы получили в России железо следующих пяти категорий по чистоте:

1) чистое древесноугольное железо из чистых уральских руд со следами серы;
2) коксовое уральское железо из сернистых руд на чистом малосернистом кузнецком коксе;
3) сибирское железо из чистых и сернистых руд на чистом коксе;
4) коксовое криворожское железо из чистых руд на сернистом донецком коксе;
5) коксовое керченское железо из руд с содержанием фосфора и мышьяка на сернистом донецком коксе.

Навстречу этому ухудшению качества железа идет развитие металлографии, раскрывающее нам причину поломок и с каждым днем все более и более оттеняющее зависимость прочности изделия от чистоты железа относительно серы, фосфора, мышьяка и других примесей.

Таким образом, мы накануне непрерывного роста прибавок «за качество» чистого железа.

[1] Данные о запасах Криворожского месторождения относятся к дореволюционному времени. Разведки последних десятилетий значительно увеличили разрабатываемые запасы руд.— *Прим. ред.*

В Западной Европе и Америке потребность в чистом железе удовлетворяется из двух источников:

а) электроплавкой,
б) шведской промышленностью.

Цены шведского железа очень высоки. Цена электрического передела не дешевле 30—40 коп. на пуд одной электрической энергии, откуда следует, что для чистого уральского чугуна прибавками за качество рынок в России будет обеспечен на всем протяжении. Границы коксового железа четырех последних категорий будут зависеть от условий транспорта и расстояний.

Между Уралом и Донецким бассейном, с одной стороны, получится раздельная линия, где железо каждых двух источников будет равноценно. Для древесноугольного железа таких раздельных линий не будет: оно, благодаря прибавкам за качество, может распространяться на запад далее Донецкого бассейна и на восток дальше Минусинска.

Это положение надо твердо установить при определении рынков сбыта для уральского железа. С другой стороны, чистота руд оказывается столь драгоценным качеством их, что засорять их железо плавкой на коксе является государственным преступлением. Таким образом мы останавливаемся на формуле:

Чистые руды на древесном угле, сернистые на коксе.

Чистым уральским рудам надо вести строгий учет и расходовать их бережливо на действительно реальные потребности.

А. Н. Заварицкий дает следующее первое приближение распределения месторождений и количества руд Урала по классам:

Iа) бессернистых руд кислого пода, т. е. дающих в чугуне P менее 0.03%,— около 4 млрд. пудов;
Iб) бессернистых руд слабо фосфористых — 3 млрд. пудов.
II) промежуточных, т. е. дающих в древесноугольном чугуне серы менее 0.05%, — 2—3 млрд. пудов;
III) сернистых, заключающих серы от 0.05 до 2%,— 10—12 млрд. пудов.

Из сказанного следует, что:

чисто древесноугольных руд	7 млрд. пудов
промежуточных	2—3 » »
коксовых	10 » »

Эта таблица указывает на возможность начать как можно раньше плавить и на Урале сернистые руды на коксе.

Проводя весь передел через миксер на основном поду, из сернистых руд на чистом сибирском коксе на Урале можно получить весьма удовлетворительные рельсы, скрепления и балки, а это составляет уже около 30% всего душевого потребления железа. Кроме того, часть коксового сортового железа можно будет тоже без вреда для дела пустить в народное обращение, что вместе с рельсами составит около 50% душевого потребления.

Сравнивая данные А. Н. Заварицкого относительно уральских руд с запасами руд юга России:[1] Кривой Рог — 5.246 млрд. пудов руды и 3.257 млрд. пудов железа; Керченский полуостров — 27.450 млрд. пудов руды и 10.930 млрд. пудов железа, мы придем к выводу, что известные

[1] И. Гливиц, Железная промышленность России, стр. 8.

рудные богатства на Урале приблизительно одинаковы по величине с южными. Но Урал в настоящее время находится в периоде отыскания весьма крупных месторождений, и возможностей для такого отыскания весьма много, тогда как Юг исчерпал, повидимому, возможности для крупных открытий в ближайшие годы, так что перевес в рудных богатствах, вероятно, будет в пользу Урала.

Что касается Сибири, то Тельбесское месторождение и Абаканское представляют запас около 4.2 млрд. пудов, или 8—10% общего запаса руд для всей России.

Конечно, было бы желательно равномерное использование всех запасов страны, а тогда желательно было бы приблизительно такое распределение производительности заводов (в процентах):

Южным заводам	46
Уральским	46
Сибирским	8
	100

Постройка Северных путей, осуществление Урало-Кузнецкого проекта, подготовка рудников Урала для массовой добычи потребуют времени, особенно после теперешней разрухи. Нормальным временем, когда Россия встанет на ноги и разовьет все свои возможности, надо считать 1940 г.

На какую же производительность заводов можно рассчитывать в 1940 г.? Каково будет душевое потребление?

И. Гливиц дает такую справку роста потребления чугуна в России и Германии.

Увеличилось потребление	Что составит рост за год
С 1864 г. по 1912 г. за 48 лет	
В Германии — в 6.24 раза	1.04 раза
В России — в 9.33 »	1.048 »
С 1880 по 1912 г. за 32 года	
В Германии — в 4. раза	1.044 »
В России — в 2.55 »	1.03 »
С 1900 г. по 1912 г. за 12 лет	
В Германии — в 1.19 раза	1.014 »
В России — в 1.35 »	2.031 »

Примем за исходный пункт наших расчетов 1912 г. Потребление росло до 1914 г. — два года.

Период с 1914 по 1925 г. выкинем, как период войны, революции и восстановления промышленности. Естественный рост начнется с 1925 до 1940 г., и период роста будет равен 10—15 годам. Всего периода роста душевого потребления будет 17 лет.

Примем коэффициент роста 1.04.

За 17 лет душевое потребление увеличится в $1.04^{17}=1.95$ раза; а так как в 1912 г. оно было 1.7 пуда, то в 1940 г. оно будет равно:

$1.7 \cdot 1.95 = 3.31$ пуда на душу населения России в год.

Население России в 1912 г. было 179 905 000 чел.; исключая население Польши, Латвии и Прибалтийских губерний — 22 484 000 чел., получим население России 157 421 000 чел.

Считая, что до 1920 г. прирост покроет потери от войны, получим население в 1940 г. $157\,421\,000 \cdot 1.4 = 220\,389\,400$ чел., округляя — 220 млн. чел. Отсюда производство чугуна должно быть $3.31 \cdot 220$ млн. $= 728$ млн. пудов в год.

Таблица 4

Промышленное использование чугунов, получаемых из различных категорий руд

Горючее	Состав чугунов S	Состав чугунов P	Состав чугунов Cr	Состав чугунов Cu	Состав чугунов Mn	Способ выделки	Кокинг угля	Назначение	Рудник
Древесный уголь	0.01	0.03	—	—	до 0.5	Чугун ковких отливок	Можно делать	Не ржавеющий металл	Мартиты, вал. руды. Бакальские руды
	0.01	0.01	—	—	до 0.2	Чугун кислого пода			Чистые бурые железняки
	0.01	0.5	—	—	до 2 0	Чугун основного пода то же			Ахтенские руды Алапаевские бурые железняки
Уголь	0.01	0.5	0.3	—	до 2.0	то же			Лебяж. Магн. ж. Серпистые руды
	0.02	2.0	—	—	до 2.0	Чугуны коксовые доменных печей	Трудно делать	Ржавеющий	Горы Высокой. Аузербахские руды. Благодать. Магнитная.
кокс	0.08	0.1	—	1.0	до 2.0				
	0.08	0.5	2.0	—	до 2.0				
	0.08	2.0	—	—	до 2.0				
		Способ выделки				Доменная печь. Печь Вельмана	Кислая мартеновская печь	Основная мартеновская печь	Доменная печь. Печь Вельмана / Основная мартеновская печь

Изготовление. Отчетственное машиностр. литье. Сталистый чугун.

Инструм. сталь. Стальные канаты. Автомоб. сталь. Пределы проч. ответственного машиностр. литья. Рессор. сталь. Сталь для пружин. Высок. качеств. Банд. жи. Шинный ось. Сталь для подшипн. Рессор. сталь для волочения. Стальное литье.

Литое железо для цепей. Литое железо для труб. Литое железо для тягов. Литое железо для прип. Литое железо для заклепок. Литое железо для подач. проволок.

Чугунная посуда. Чугунное маш. литье. Колеса Гриффина.

Железо для пер. котл. » » кораблестр. Жесть штампов. Пров. волока. Сварн. сорт. железа. Железо для волочения. Кричное железо. Мостовое железо. Жженое железо конструкции. Железобетон. сооруж. Рельсы. Балки. Шестерн. Шпалы. Накладки. полклинья.

Примечание. Из самых чистых руд на древесном угле можно делать весь ассортимент продуктов железного производства. Пользуясь дорогими способами выделки, пудлингованием для сваривающегося железа и электроплавкой для твердого металла, а также особенной тщательностью работы персонала у печей, можно из менее чистых материалов готовить и более высокие сорта, мирясь с неизбежным повышением брака неудачных плавок. Поэтому выгоднее использовать природную чистоту руд, следуя этой таблице. Чистота руд есть национальное богатство, не подлежащее растрате.

Цифру эту можно разделить таким образом:

1) на сибирские месторождения (Тельбесс и Абакан) для плавки надо отчислить 65 млн. пудов.

2) на плавку на коксе на Урале 150 млн; на древесном угле 175 млн. пудов и

3) на коксе на Юге России — 338 млн. пудов.

Эти цифры приблизительно соответствуют запасам чистых и сернистых руд в Сибири, на Урале и на Юге. Они предполагают несколько более замедленное развитие Юга России, что нетрудно обосновать тем неизбежным переходом на плавку керченских руд, которая предстоит Югу вследствие грозящего истощения Криворожского месторождения.

Вероятнее всего, что в Керчи будет сосредоточено производство рельсов,[1] балок, подкладок и накладок из грязных руд на грязном коксе.

В Донецком бассейне — производство сортового железа из чистых криворожских руд на грязном коксе около 35 млн. пудов.

На Урале плавка сернистых руд на чистом кузнецком коксе для рельсов, балок, подкладок и накладок и частично прокатка сортового железа около 150 млн. пудов.

На Урале же плавка чистых руд на древесном угле высших сортов чугуна, стали и железа 175 млн. пудов.

Районы сбыта для рельсов и сортового железа, выделанных на коксе, будут размежевываться географически только между продуктами коксового производства.

Какие же сорта чугуна, отливок железа и стали удобнее всего делать из чугуна различных категорий руд?

Ответ на это дает табл. 4.

Если разделить железо в качественном отношении по сортам, то мы можем приблизительно получить следующие количества железа разных категорий (табл. 5).

Таблица 5

	Рельсов и балок, млн. пудов	Скрепления, млн. пудов	Сортового и кровельного, чугунных отливок, млн. пудов
1. Чистого древесноугольного железа			175
2. Коксового уральского 150 млн. пудов	100	8	42
3. Коксового криворожского } 338 млн.	100	11	160
4. » керченского } пудов			67
5. » сибирского 65 млн. пудов	25	2	38
	225	21	482

Из группы сортового, котельного, проволоки и кровельного железа — высокосортного древесноугольного будет 36.3%. Этого количества достаточно для обеспечения требований на железо для ответственных изделий и орудий производства.

Со временем количество керченского железа будет увеличиваться из года в год, а процент чистого древесноугольного железа будет падать.

[1] В России предъявляют очень строгие требования к рельсам; увеличив вес верхнего строения железных дорог, можно значительно их понизить.

Глава VII

Теперь я подхожу к самой главной причине упадка уральской промышленности — к недостатку древесноугольного топлива и к мерам, которые надо принять, дабы снабдить Урал древесным углем в меру его потребности. Существует мнение, что уральские заводы безжалостно вырубили и сожгли свои леса и потому в настоящее время нуждаются в топливе. Как пример, всегда приводится Невьянский округ, дачи которого действительно истощены.

Однако мне вспоминается один из управляющих Невьянска, который взял производительность железа этого округа за все 200 лет его существования и подсчитал, что на металлургию заводами истрачено не более $^1/_{10}$ прироста этой дачи.

Дача выжжена и вырублена местным крестьянским населением; выжжена так же, как выжжены и окрестности г. Туринска, дачи Камышловского и Шадринского уездов, где никогда заводов не было; как выжжены леса Забайкалья и Амурской железной дороги.

Пуская систематически палы для обновления травы, крестьяне уничтожают молодую поросль на куренных вырубках и тем увеличивают площадь покосов и своего землепользования, которое за ними дважды было закреплено по закону: первый раз при наделении государственных крестьян и второй раз при наделении мастеровых Урала по закону 8 мая 1893 г.

Конечно, такое обращение лесов в пашни и покосы очень невыгодно для заводов, и они всячески этому противодействовали, охраняя дачу объездчиками, строя кордоны, привлекая виновных в лесных пожарах к ответственности.

Однако, с государственной точки зрения, покос и пашня дают больший доход, чем лес и металлургия, и лучше обеспечивают население хлебом и поэтому, имея другие источники металлургического топлива, особенно печалиться о превращении многих дач горных заводов в угодья крестьян не приходится. Но во всяком случае с уральских заводчиков надо снять укор в том, что они вырубили леса.

Как нельзя выловить рыбы из реки, если ловить ее законными путями, так нельзя вырубить леса; если бы крестьяне систематически не пускали палы по лесосекам и не губили молодой поросли, лесов для металлурга было бы достаточно.

Так или иначе, но сейчас почти все дачи устроены и вырубка идет по указанной норме. Количество древесного угля нормировано, и производительность заводов ограничена. Заводы увеличивают ее, переведя весь передел чугуна в железо на пни, сучья, торф и каменный уголь.

Ограниченная топливом производительность заводов при широких возможностях ее благодаря рудным богатствам — вот истинный враг уральских заводов. Растут накладные расходы и ложатся все тяжелее и тяжелее на то же количество топлива, на ту же производительность заводов.

И заводы до тех пор не поправятся, пока Уралу не будет дано произвольное количество топлива и, следовательно, возможность дальнейшего свободного развития своей производительности.

Мы увидим ниже, что Урало-Кузнецкий проект — одна из этих возможностей: создание крупных заводов на сернистых магнитных железняках гор Магнитной, Высокой и Благодати.

Другая, выяснившаяся только в последнее время, возможность — снабжение Урала произвольным количеством древесного угля с Северной сибирской магистрали.

Если мы соединим на карте (стр. 178) бухту Сорока,[1] Котлас, Соликамск, Верхотурье, Туринск, Тобольск, Томск, то мы получим магистраль свыше 3000 верст, прорезывающую сплошной массив почти безлюдных лесов. В середине этого массива лежит Алапаевск с его прекрасным месторождением бурых железняков, несколько дальше Высокая и Благодать, южнее Бакал, Комаровское месторождение и Магнитная.

Леса Северного массива, площадью больше площади Германии, до сих пор не эксплоатировались, ибо край был совершенно безлюден (менее 1 человека на квадратную версту); между тем, вся магистраль проходит немного южнее северной границы пшеницы, т. е. в земледельческой полосе, и может быть плотно заселена.

Надобность Переселенческого управления Сибири в свободных для переселения землях очень велика. В последние довоенные годы оно отказывало только в Томске в 25 000 долях ежегодно, ибо южные степные пространства уже заселены, а в тайгу никого послать нельзя вследствие полного бездорожья тайги.

При проведении Северной сибирской магистрали условия для переселения резко изменяются. Переселенец получит на рельсах все условия жизни культурного человека и на 25 лет работу по разработке леса, отведенного ему в надел.

Назначая для переселения сплошную полосу вдоль магистрали по 5 верст по обе стороны, всего 10 верст, мы получим на версту 69 участков по 15 десятин. Считая, что из 3000 верст протяжения магистрали 2000 верст будет суходолов, мы получим что на магистрали можно будет поселить 140 000 переселенцев. В задачу каждого будет положено вырубить весь лес со своего участка, т. е. $30 \times 15 = 450$ куб. саженей, сдав на рельсы строевой лес в виде бревен, остальной лес в виде дров, пней и сучьев для превращения их в древесный уголь и продукты сухой перегонки.

Очистка каждой десятины пашни или покоса из-под тайги даст поселенцу при цене за дрова из 3.5 верст в 6 руб. золотом за куб. сажень и за корчевку пней, вязку сучьев — всего около 250 руб. на десятину, сумму, достаточную для безбедного существования первые годы переселения. Со временем, когда первые десятины будут обращены в пашни, на своем хлебе переселенец будет чувствовать себя еще лучше. Так как каждая переселенческая семья берет на себя 2—3 доли, то работы по очистке тайги под покосы и пашни крестьянам переселенцам хватит лет на 20, после чего они могут сделаться только хлебопашцами.

Обставленное так переселение совсем не страшно. Охотников взять участки будет много, и заселить 140 000 долей не будет никакого труда.

Не входя в детали проекта Северной сибирской магистрали, я должен указать, что уральская промышленность обеспечивается вырубкой десятиверстной полосы вдоль магистрали на 20 лет по 112.5 млн. пудов чугуна в год. Когда десятиверстная полоса будет вырублена, то начнется правильная эксплоатация лесных дач по сплавным рекам, пересекающим магистрали. По самому умеренному подсчету, они могут ежегодно дать такое же количество древесного угля неопределенное количество лет.

[1] Беломорск.—*Прим. ред.*

Если вслед за линией Сорока — Томск провести еще более северную магистраль или провести ряд меридиональных линий, то площадь эксплоатируемых лесов может быть значительно увеличена и уральская промышленность получит столько древесного угля, сколько ей понадобится.

По какой цене будет уголь?

При оценке древесного угля можно исходить из двух точек зрения:

а) все расходы по выжигу угля относить на уголь, парообразные же продукты сухой перегонки считать поступающими в химические заводы даром;

б) древесный уголь считать одним из многих продуктов сухой перегонки и на него относить только часть расходов по производству.

Так как создание мощной химической промышленности и утилизация многих миллионов пудов уксусной кислоты в виде ацетилцеллюлозы и искусственного каучука и других продуктов органического синтеза потребует времени, то мы считаем более осторожным принимать продукты сухой перегонки с нулевой ценой и все расходы относить только на древесный уголь.

Парообразные продукты сухой перегонки должны нести на себе:

1) расходы по излишнему отоплению печей, если таковые окажутся;

2) отдавая продукты даром, мы можем считать их за прибыль производства древесного угля на затраченный капитал и

3) химические продукты могут быть резервом для неизбежного увеличения с годами оплаты за мускульный труд на лесных заготовках.

Исходя из этих положений, при оценке лесных работ мы приняли платы на лесные заготовки по времени до войны, т. е. за 1910—1913 гг.

С годами мы или заменим мускульную работу механизацией заготовок по примеру Америки и вывозкой дров паровозами из леса по укладываемым на снегу переносным железным дорогам или используем возможность отнести часть расходов по заготовкам на окрепшую химическую промышленность и, таким образом, будем иметь возможность удержать цены на древесный уголь на прежнем уровне.

Кроме того, при оценке угля большое значение имеет вопрос транспорта, который поставлен на Урале особенно неудовлетворительно. Как наша дореволюционная промышленность была плохой копией западноевропейской, так и наши железные дороги копировали Западную Европу и не желали смотреть на то, что делает Швеция.

А в Швеции железные дороги проводятся по лесам при ширине полосы отчуждения, равной ширине полотна с кюветами. В Швеции я ездил четыре недели по Далекарлии, сплошному массиву лесов, и не видел следов лесного пожара.

В Швеции весь древесный уголь возят в решетчатых открытых вагонах, разгружающихся открытием боковых стенок вдоль длинных боков вагона. Если взять нашу 30-футовую платформу и поставить на ней решетчатый ящик по габариту железных дорог, то такой вагон вместит сосново-елового угля 800 пудов, березово-соснового 1000 пудов.

Удлинив ее до 37 футов, как делают шведы, мы получим грузоподъемность вагона 1000 пудов при легком угле и, таким образом, уподобим древесный уголь другим горнозаводским грузам; в таких вагонах древесный уголь можно возить уже по тарифу 0.01 коп. пуд-верста.

Нагружать и разгружать такие вагоны можно без того колоссального уминка, который наблюдается теперь при перевозке древесного угля в закрытых вагонах.

Каким образом достигнуть всех этих благ? Введением принятых на шведских правительственных железных дорогах *обязательных* для железных дорог Далекарлии тюрбинных *искрогасителей* в основании дымовой трубы паровоза.

Мой личный опыт введения этих искрогасителей на лесной дороге в Алапаевском округе дал блестящие результаты. За 3 года работы мы не видели ни одной искры, прорвавшейся из топки паровоза при отоплении его дровами. В свое время я усиленно агитировал за обязательное введение их на Уральской железной дороге, но косность железных дорог так велика, что ничего сделать не мог.

При постройке Северной сибирской магистрали на этот вопрос надо обратить самое серьезное внимание.

При тарифе 0.01 коп. стоимость среднего пробега древесного угля на пуд ляжет около *семи копеек*, считая расстояние от Алапаевска до Томска 1350 верст, а следовательно, пробег древесного угля 700 верст.

При цене дров 6 руб. 60 коп. куб. сажень, при выходе из куба дров 60 пудов древесного угля, цеховых — 3 коп., погашения — 3 коп., содержания администрации, процента на оборотный капитал и подтопку печей 3 коп. цену древесного угля на рельсах получим 19 коп. за пуд, а в Алапаевске 26 коп. пуд; цену чугуна получим 45 коп. Цена чугуна 45—50 коп. — общемировая цена. При такой цене чугуна и правильной организации железной промышленности Россия получит железо по общемировым ценам. Мы увидим ниже, что прибавки за качество обеспечат уральскому железу транспорт от заводов Урала по всей стране; мало того, можно даже уверенно сказать, что при мощной поддержке металлографии, которая медленно, но неуклонно освещает нам причины всех аварий и поломок, случающихся с металлическими сооружениями и орудиями, чистое древесноугольное уральское железо найдет себе обширный рынок за границей.

Пренебрежительное отношение к древесному углю пройдет, и человечество оценит возможности, открываемые страной далекого Севера.

Глава VIII

В предыдущей главе мы поставили себе задачу — указать такую организацию уральской промышленности, которая использовала бы все возможности, данные нам природой.

Доменный чугун, выплавленный в доменных печах, обладает двумя возможностями:

1) несет в себе теплоту плавления;
2) чист от серы.

Обращая его в штыковый чугун, мы теряем его физическую теплоту. Расплавляя в вагранке чугун на коксе или антраците, мы загрязняем его серой.

Итак, переработка чугуна, не исключая и литье, должна быть поставлена так, чтобы жидкий доменный чугун из ковша поступал прямо в мартеновские печи или качающиеся печи Сименса (Вельмана) для чугунных отливок.

Первая возможность не представляет новости. Вторая является редкостью, и посему об организации литейных по такому шаблону надо сказать несколько слов.

В Симском заводе было замечено, что особенно хороши были изложни, отлитые прямо из домен. Из вагранок они были уже хуже. Это и понятно — в них были уже сотые серы.

С другой стороны, современные наши средства таковы, что для получения нужного качества чугунного литья совершенно не нужно переплавлять доменный чугун. Из жидкого доменного чугуна в качающиеся печи Сименса (Вельмана) с кислым подом мы можем приготовить литейный чугун нужных нам качеств, для чего надо устранить только могущие быть в нем недостатки, а именно: 1) излишнее содержание кремния, 2) недостаток содержания кремния, 3) избыток содержания марганца, 4) недостаток содержания марганца, 5) избыток графита или спели.

Для удаления избытка кремния, когда доменный чугун влит в качающуюся печь Сименса, мы можем подкинуть на поверхность ванны в мелких кусках руду и удалить столько кремния, сколько пожелаем.

Если чугун белый, мы можем ввести в ванну расплавленный ферросилиций, для чего следует иметь тут же маленькую электрическую печь.

Если в чугуне избыток марганца, на поверхность ванны надо засыпать тоненький слой песка, который вызовет образование марганцовистого шлака. При недостатке марганца можно прибавить расплавленного ферромарганца.

Если чугун чрезвычайно спелист, в ванну можно подсадить обрезков кровельного железа, нагреть ее и тем разбавить содержание в чугуне углерода. Выдерживая чугун в печи или в ковше, мы можем получить чугун *любой температуры*.

Итак, установив качающуюся печь Сименса на доменном газе, мы получим *идеальный* чугуноплавильный прибор, дающий отливки, совершенно не загрязненные серой и тех качеств, какие нам требуются. При печи надо будет иметь только столь же хорошего *варовщика*, каковы *сталевары* на мартеновских печах. Искусство их будет того же порядка.

При такой организации доменночугунолитейных заводов они будут выпускать на рынок только сходные отливки. Весь брак, крошка, чугун сырого хода — все это будет своевременно переплавляться в качающейся печи при доводке чугуна до нужной степени спелистости и температуры.

Расчет показывает, что при переработке всего жидкого доменного чугуна рудным процессом в мартеновских печах в слитки, доменный газ должен быть поделен таким образом:

на нагрев дутья	40%
на мартеновский передел . .	60%
	100%

При переработке всего жидкого чугуна в чугунные отливки останется некоторый избыток доменного газа, который можно свободно употребить на сушку формовок и другие надобности.

Доменнолитейные заводы могут быть организованы только для массовых отливок по небольшому числу моделей. На первое место надо поставить: изложни, колеса Гриффина, чугунные трубы для водопроводов, принадлежности парового и водяного отопления, буксы для вагонов и другие железнодорожные принадлежности массового потребления.

Что касается чугунной посуды, то рядом с печью для тяжеловесных отливок придется ставить две качающиеся маленькие печи для посудного литья. Непрерывность отливки посуды требует заложения двух печей небольшой вместимости.

В то время, как из одной печи тоненькой струйкой будут лить посуду, в другой в это время будут готовить чугун.

В приложенной ниже программе распределения выплавки древесноугольного чугуна по заводам Урала отливки предусмотрены в заводах: Саткинском, Аша-Балашевском — изложень по 4 млн. пудов из двух

домен; Баранчинском — изложень 2 млн. пудов из одной домны; в Кусинском заводе — колес Гриффина — 3.5 млн. пудов и 0.5 млн. пудов посуды; в Каменском заводе 4 млн. пудов труб чугунных.

Что касается *ковкого чугуна* в количестве 1 млн. пудов, то он отнесен к производству мелких заводов. Для ковкого чугуна желателен чугун, не содержащий серы, фосфора и марганца.

В последнее время для ковких отливок применяют сталистый чугун с 30—40% стали, который льют из маленьких мартеновских печей. Вся обстановка этого производства есть обстановка завода специального производства.

Сюда же отнесено и машинное литье по разнообразным моделям в количестве 4 млн. пуд.

Лучшим плавильным прибором для сего будет качающаяся печь Сименса.

Для надобностей машиностроительных заводов Европейской России и заводов народной обороны в Катавском заводе предусмотрена плавка бакальского чугуна в количестве 10 млн. пудов.

Кроме того, для надобностей этих же заводов будут служить отработавшие свой срок изложни в количестве 8 млн. пудов.

Всего в виде чугуна и чугунных отливок в Урале предполагается отливка 29 млн. пудов доменного чугуна, что согласуется с данными Гливица о количестве чугунных отливок (около 15 млн. пудов и чугунных труб — 2 млн. пудов), превосходя эти цифры для 1940 г. вдвое.

Производство кровельного железа. Физическая теплота жидкого доменного чугуна может быть полезно использована при производстве литого железа и при дальнейшей прокатке слитков в сутунку.

Сутунка режется и студится на ножницах. Дальнейшая прокатка кровельного железа совершенно не связана с доменными печами, мартеном, кроме возврата около 30% обрезков. Вместе с тем прокатка кровельного железа требует очень большой затраты мускульной силы. К этому производству не приложены идеи механизации прокатки, ее непрерывности.

Приходится удовлетворяться прокаткой на станах Дуо, с передачей листов через верхний вал и ручной подачей в прокатные валы. Поэтому фабрики кровельного производства, превышающие производительность нескольких миллионов пудов, потребуют устройства целых городов заводских поселений.

Гораздо выгоднее использовать для этой работы уже готовые заводские поселения и рассылать по Уралу из крупного производственного центра сутунку, наблюдая только, чтобы она не имела попятного движения.

Содержание в чугунах алапаевских руд около 0.3% фосфора и 0.15% хрома делает эти чугуны наиболее пригодными для прокатки кровельного железа. Другим центром прокатки сутунки может быть Надеждинский завод, с подсобными для него заводами — Нижней Турой и Сосьвинским. Этот последний завод вместе с Надеждинским заводом может сплавлять кровельное железо в Сибирь, что особенно удобно ввиду сезонности этого товара. Железо из Надеждинского завода и Нижней Туры может направляться или в Европейскую Россию или в Сибирь.

В Алапаевске, лежащем на весьма мощном месторождении железных руд, можно выплавлять 50 млн. пудов чугуна в год и делать столько же сутунки. Эту последнюю можно разослать по следующим заводам (табл. 6 и 7).

Таблица 6

Производство кровельных заводов Урала

Заводы	Потребность сутунки, пуд.	Производство кровельного железа, пуд.	Производство жести, пуд.	Получение концов, пуд.	Примечание
Пожвенский . .	1 236 000	1 000 000	—	225 200	
Никитинский . .	1 236 000	1 000 000	—	225 200	
Чермовский . . .	2 473 200	2 000 000	—	450 400	Концы отправляются в Чусовую 4053 600 пудов
Добрянский . . .	2 473 200	2 000 000	—	450 400	
Палазнинский .	2 473 200	2 000 000	—	450 400	
Нытвенский . . .	3 709 800	3 000 000	—	675 600	
Лысьвенский . .	6 183 000	5 000 000	—	1 126 000	
—	2 473 000	—	2 000 000	450 400	
Режевской . . .	2 473 200	2 000 000	—	450 400	В Алапаевск 1 576 400 пудов
Ирбитский . . .	2 473 200	2 000 000	—	450 400	
Нейво-Шайтанский	3 709 800	3 000 000	—	675 600	
Верхне-Салдинский	3 709 800	3 000 000	—	675 600	В Нижне-Салдинский 1 351 200 пудов
Нижне-Тагильский	3 709 800	3 000 000	—	675 600	
Нижне-Туринский	2 473 200	2 000 000	—	450 400	В Гороблагодатский 900 800 пудов
Верхне-Исетский	2 473 000	2 000 000	—	450 400	
Надеждинский .	4 946 000	4 000 000	—	900 800	В Надеждинск 1 801 600 пудов
Сосьвинский . .	4 946 000	4 000 000	—	900 800	
Миньярский . .	3 709 800	3 000 000	—	675 600	В Китав-Ивановский
Сысертский . . .	2 473 200	2 000 000	—	450 400	В Златоуст 1 351 200 пудов
Михайловский .	2 473 200	2 000 000	—	450 400	
Нязе-Петровский	2 473 200	2 000 000	—	450 400	
Итого	64 300 800	50 000 000	2 000 000	11 710 400	

На долю Алапаевского завода падают сутунки 50 701 400 пудов
На долю Надеждинского завода падают сутунки 13 599 400 »
Причем сутунки Надеждинского завода расходуются в своем заводе и отправляются в Сосьвинский завод, в Нижне-Туринский завод и 2 473 000 пудов жестяной болванки в Лысьвенский завод.

Глава IX

В задачу этой главы входит суммировать те мероприятия, которые нужно провести в жизнь при насаждении новой мощной коксово-древесноугольной промышленности Урала.

Урал получит в 1940 г. 150 млн. пудов кокса Кузнецкого бассейна и 112.5 млн. пудов древесного угля, в добавок к тем 45 млн., которые приготовляются теперь на заводах Урала.

Таблица 7

Производство доменных заводов Урала

Заводы	Чугун	Обрезки кровельные	Сутунки	Сортовое	Котельное	Проволока	Кислая сталь	Литейный чугун	Всякое литье
Надеждинский . . .	12 000 000	1 800 000	13 600 000	—	—	—	—	—	—
Алапаевский	49 960 000	1 580 000	50 700 000	—	14 700 000	—	—	—	—
Нижне-Салдинский .	13 980 000	1 350 000	—	—	—	—	—	—	—
Гороблагодатский .	14 870 000	900 000	—	13 400 000	—	—	—	—	2 000 000
Каменский	4 000 000	—	—	—	—	—	—	—	4 000 000
Кусинский	4 000 000	—	—	—	—	—	—	—	4 000 000
Чусовской	6 730 000	3 600 000	—	10 000 000	—	—	—	—	—
Саткинский	4 000 000	—	—	—	—	—	—	—	4 000 000
Златоустовский . .	6 650 000	1 350 200	—	—	—	—	7 000 000	—	1 000 000
Катав-Ивановский .	13 320 000	680 000	—	—	—	—	4 000 000	10 000 000	—
Белорецкий	41 460 000	—	—	22 000 000	13 000 000	5 000 000	—	—	—
Аша-Балашевский .	4 000 000	—	—	—	—	—	—	—	4 000 000
Итого	174 970 000	11 260 000	64 300 000	45 400 000	27 700 000	5 000 000	11 000 000	10 000 000	19 000 000

Очевидно, истинными хозяевами Урала будут те организации, которые будут держать в руках эти два мощных потока горючего.

В нашу задачу входит указать неизбежность трестирования уральской промышленности.

Выше мы видели, что шведская промышленность уже давно трестировалась и научно-техническому тресту обязана она своим преуспеванием. Урал не может остановиться на полдороге, как остановились шведы. Его объединение пойдет само собою дальше, ибо все заводы будут получать свое горючее из одного источника: древесный уголь с Северной сибирской магистрали, кокс с Кузнецкого бассейна.

Вместе с тем нет никакой промышленной выгоды в создании колоссальных заводов с широкой программой деятельности. Напротив того, интересы промышленности требуют создания сравнительно небольших узко специальных заводов массового производства. В таком заводе все цехи должны находиться в органической связи между собою и должны производить только один род отделанных произведений. Нагромождение многих параллельных производств в одном заводе придает заводу громоздкость и не способствует ни его процветанию, ни понижению его накладных расходов. Поэтому в организации будущей промышленности Урала проведена иная точка зрения, чем в Урало-Кузнецком проекте, создававшем на Урале только три завода-города.

В предлагаемой программе предусмотрены четыре довольно крупных завода: Магнитная, Алапаевск, Кушва и Белорецк (или Уфа) и 20 мелких узко специальных заводов. Но это только первое, самое грубое приближение. Число вовлеченных в орбиту новой промышленности Урала заводов-специалистов должно быть увеличено. При изучении условий работы каждого отдельного завода Урала надо стараться, исходя из местных возможностей найти узкую для каждого специальность, где бы навыки заводского населения нашли свое приложение и приобретенная культура не была напрасно потеряна. Это очень трудная, но благодарная задача.

Особенное внимание должно быть обращено на заводы народной обороны. Перенесение их на Урал будет иметь очень большое влияние на научные достижения уральской промышленности.

Наша задача заключается в том, чтобы связать деятельность этих заводов с научной критикой и поставить научное руководство этими заводами на такую научную высоту, которая обеспечила бы железной промышленности России надлежащее самостоятельное место среди цивилизованных народов мира.

Наша вопиющая отсталость в технике и науке есть следствие скупости в последнее столетие правительства на содержание научных сил и учреждений. Правительство Екатерины II было последним, насаждавшим в России науки и искусства. У учеников Аракчеева не было на это денег. Между тем ни один расход правительства не окупается так скоро, как расход на науку вообще, а прикладную в особенности.

Примером может служить Путиловский завод, открывший неограниченный кредит на всевозможные исследования своей металлографической лаборатории под руководством Н. И. Беляева, и открытия из этой лаборатории полились обильным потоком. Предметом ее текущей работы было раскрытие причин брака по производству и указание способов для его избежания.

Такая же лаборатория, между прочим, имеется на заводе специальной стали у Хадфилда в Англии. Такая же лаборатория в последнее время налаживалась на меднопрокатном заводе Кольчугина под Москвой. В об-

ласти органической технологии такую лабораторию под руководством П. И. Шестакова имеет завод Жукова в Петрограде. Если бы она себя не окупала, то едва ли бы она работала много лет подряд.

За границей в области механики и металлургии эту просветительную роль играют отчасти технические конторы и технические бюро машиностроительных заводов, наживающие на патентах деньги. Тем же живут электротехнические фирмы и заводы.

Вся красочная и фармацевтическая промышленность Германии построена на работе заводских лабораторий. У нас первое время подобным учреждениям придется оказать мощную поддержку правительства, и заводы народной обороны лучшее для сего место.

Могут спросить, почему я не указываю на высшую техническую школу, как центр научной технической жизни страны и средоточие лабораторий и исследовательских институтов. Ответ простой. Академическая атмосфера — слишком спокойная для сего среда. Заводской инженер, цех которого работает убыточно из-за массового брака, дает работе заводской лаборатории недостижимую для академической лаборатории интенсивность. Проверочные опыты, повторные исследования следуют с такой быстротой, с таким напряженным вниманием, вселить которое в людей, непосредственно не заинтересованных этим делом, очень трудно.

С другой стороны, и исследовательские средства совершенно другие. В заводе сделать опытную плавку, проковать слиток, вырезать из него отдельную часть — очень просто, очень скоро, что совершенно недоступно для исследовательского института при учебном заведении.

Завод народной обороны — лаборатория железной промышленности, и исследовательский институт должен быть в его стенах. Петроградские заводы народной обороны построены так вопиюще не на месте, что к переносу их теперь же в район Челябинска нет совершенно никаких препятствий. Я полагал бы, что можно было бы теперь же организовать коллегию для выбора места, составления строительного плана подобного переноса и для выработки устава того испытательного металлографического института, который должен быть учрежден при них. Он обслужит по пути заводы Златоустовский, Катавский и Мотовилиху, где металлография поставлена весьма слабо. Тут же должно быть организовано бюро артиллерийских и крепостных установок.

Что касается технического бюро для разработки проектов транспортных сооружений, заводских и рудничных механизмов, гражданских сооружений, мостов и пр., то лучшее для них место — при машиностроительных заводах этих специальностей.

Совершенно специальное место занимает бюро проектирования печей, сушил и вообще металлургических заводов в их целом. Такое бюро на весь Урал должно быть в центре заводского района в Екатеринбурге, и ближайшая связь его с высшей школой чрезвычайно полезна для них обоих.

При высшей школе должны быть обширные лаборатории для решения вопросов общего теоретического характера, не требующих технических приспособлений для своего решения.

При реорганизации уральской промышленности должно быть организовано бюро для изыскания железнодорожных ветвей от всех рудников и заводов Урала к государственной сети. Необходимость такого учреждения ясна без доказательств. Экономическая секция этого бюро должна осветить вопрос о тех возможностях, которые дадут новые ветви для развития входящих в сферу их влияния заводов и рудников. Работа эта может значительно изменить наш первоначальный план распределения выплавки чугуна на Урале и сети передельных заводов.

Глава X

Как же на практике провести в жизнь идею развития мощной уральской промышленности?

Осуществление этой идеи должно пройти три стадии:

По горному делу

Первая стадия

1. Геологическое изучение железных рудников Урала и особенно рудников полосы каменноугольных отложений Алапаевск-Каменского завода, где есть полная вероятность найти месторождения алапаевского типа.
2. Геологическое изучение буроугольной юрской полосы от Богословска до Челябинска, где есть полная вероятность найти ряд буроугольных месторождений.
3. Геологическое изучение каменноугольной полосы Троицких месторождений антрацита.

Вторая стадия

1. Разведка всех подающих надежды месторождений Урала.

Ошибки определений запасов железных рудников и копей могут повести к неправильной распланировке заводов будущего Урала, к непроизводительной потере многих миллионов рублей.

2. Составление общих планов разработки месторождений для массовой добычи. Разведка каждого месторождения должна быть связана с поверхностной нивелировкой, с планом железнодорожных петель и проектов расположения отвалов пустой породы при экскаваторной добыче.
3. Составление строительных чертежей устройств рудников.

Третья стадия

Оборудование рудников и постепенное развертывание добычи на них до назначенной нормы.

По заводам

Первая стадия

Изучение возможностей каждого завода:

1. Обеспечение его мускульной силой,
2. Обеспечение его топливом.
3. Обеспечение его рудой.
4. Изучение существующей промышленности и действующих устройств, навыков населения, свойств руды и других ископаемых, исследование гидравлической силы, лесов и других факторов, определяющих возможность существования специальной отрасли промышленности.
5. Изучение тарифных возможностей данного пункта в связи с проводом новых подъездных путей.
6. План организации будущего завода и изысканий железнодорожных путей.

Вторая стадия

Изучение новых производств. Разработка детальных планов новых устройств. Опыты в заводском масштабе. Постройка подъездных путей.

Третья стадия

Постройка новых устройств. Постепенный их пуск и переход к новой деятельности.

Самая деятельная и крупная работа предстоит Геологическому комитету, все силы коего временно надо сосредоточить на изучении уральских месторождений полезных ископаемых. Под руководством Геологического комитета должно быть организовано разведочное учреждение.

После выяснения характера месторождения дело должно перейти в рудничную контору для разработки планов рудников и всех их устройств.

Очевидно, что во время разрухи, нам современной, ни о какой разведке даже известных месторождений думать нельзя. Но это время надо использовать для геологической работы. Она требует затраты сил только интеллигенции, которая готова работать усердно.

Ко времени, когда возможна будет практическая работа вообще, геологи могут дать готовый материал для постановки разведок, требующих привлечения большого числа рабочих.

То же должно сказать и о заводах. Теперь должно быть произведено их обследование и изучение, включая планы организации будущих заводов и изысканий железнорожных путей, изучение новых производств и разработка детальных планов новых устройств, т. е. должна быть сделана подготовительная работа силами интеллигенции. Дальнейшая работа, которая потребует народных сил, должна быть отложена.

Работа изучения роли каждого завода и рудника в будущей промышленности Урала возможна только на месте, на Урале, в соприкосновении с местными людьми. Литературных данных об уральских заводах очень мало, и потому учреждение, которому эта работа будет поручена, должно иметь своим местопребыванием какой-либо центральный пункт на Урале.

Действующих заводов на Урале около ста. Полагая на обследование каждого две недели, а число обследователей четыре, время обследования займет около года. Срок гораздо более короткий, чем обследование рудников.

Из сказанного очевидно, что неотложное геологическое исследование крайне необходимо, времени терять на него не следует и потому важно не потерять лета 1920 г.

Подготовительная работа по обследованию рудников и заводов должна совпасть с изысканиями Северной сибирской магистрали, изучением ее в переселенческом отношении, таксацией десятиверстной полосы и нарезкой переселенческих долей.

Следующим этапом будет назначение пунктов постановки печей и лесопильных заводов, а, следовательно, разъездов.

Производительность пункта углежжения должна быть равна 1000 пудам древесного угля в 24 часа, или один вагон.

При выходе из куб. сажени 60 пудов древесного угля пережог в сутки будет равен 17 куб. саженям, или при 300—330 днях в году непрерывной работы около 5000—5500 куб. саженей в год. Один месяц в году по очереди каждое заведение будет останавливаться для необходимого ремонта всего устройства.

Печи предполагаются коридорные. Емкость вагона около 1.5 куб. сажени. Окончательный проект такой печи может быть дан только тогда, когда начатые работы проф. Поварнина по изучению процесса сухой перегонки дадут окончательные для нее задания.

Дело в следующем. Новейшие исследования показывают, что продукты сухой перегонки распадаются на несколько отдельных фракций, которые, по возможности, не надо смешивать. Тогда могут быть получены

весьма крепкие погоны уксусной кислоты, древесного спирта, скипидара и смолы.

Задача только в том, чтобы выдержать дрова надлежащее время при определенной температуре, пока происходит гонка определенного погона, и не смешивать его со следующей ступенью, со следующим погоном.

Собирая каждый погон отдельно, мы получим подсмольную воду, из которой будет очень просто выделить продукты сухой перегонки в совершенно чистом виде.

Коридорная печь, удовлетворяющая этому заданию, должна быть разделена дверями на ряд отдельных камер на столько вагонов, чтобы каждый пробыл при назначенной температуре определенное время, нужное для выделения данного погона.

Когда лабораторные опыты дадут нам скалу температур нужных фракций и время, нужное для полного отгона данной фракции, то спроектированная по этим заданиям печь должна быть построена, пущена и по ней должны быть затем одновременно построены 350 печей, стоимостью, вероятно, около 70 млн. руб.

Вся эта предварительная работа займет не менее трех лет, откуда ясно, что работы проф. Поварнина должны вестись с максимальной интенсивностью.

Постройка и заселение, а также постройка углевыжигательных печей Северной сибирской магистрали должна начаться от Верхотурья и Соликамска в обе стороны.

Из Соликамска древесный уголь пойдет на заводы западного склона Урала, из Верхотурья — на восточный склон. По мере продвижения магистрали на восток и запад число углевыжигательных печей будет увеличиваться, будет увеличиваться и тираж древесного угля.

Теперь рассмотрим вопрос, в каком порядке должны строиться заводы на Урале.

Очевидно, что больше всего времени для перехода с одного рода деятельности к другой надо дать заводам, в которых старая специальность заменяется новой, и меньше всего тем, где уклад жизни завода обогащается новым производством.

Например, нет никаких трудностей завести в Кусьвинском заводе отливку колес Гриффина, посуды из домны, изложень в Сатке, Аше и Баранче; труб из домны в Каменском заводе. Раз отливки хороши и дешевы, то рынок для них найдется. Так же легко будет пустить Алапаевский завод для прокатки сутунки.

Продажная цена сутунки выходит на древесном угле Северной сибирской магистрали от 75 до 80 коп. пуд, — цена, по которой ее охотно будут покупать все заводы, катающие кровельное железо.

Остановив свои мартеновские печи, прокатку сутунки, эти заводы увеличат свою выделку кровельного железа и удешевят свое производство.

Труднее будет переживать этот перелом в деятельности заводов, катающих рельсы, сортовое железо, проволоку и т. п.

Прежде пуска новых заводов массового производства и остановки ныне действующих, придется обеспечить эти заводы новыми производствами. Тогда перелом в их деятельности пройдет совершенно безболезненно.

Из сказанного ясно, что организационная работа по введению новой древесноугольной промышленности очень велика.

Надо учесть интересы каждого заводика, дать ему свою маленькую роль в общем деле и организовать в нем массовое производство, исключая всякую мысль о благотворительности за чужой счет.

Организация промышленности на Урале должна быть такова, чтобы возможно было снять охранительные пошлины на продукты железного производства. Россия должна иметь столь же дешевое железо, как все государства Европы.

Это сделать можно и должно.

Цитируя цены на чугун И. Гливица, я обратил внимание, что он сообщил цены на чистые гематитовые чугуны, равноценные южнорусскому криворожскому чугуну, а не на передельные чугуны. В Германии эти чугуны идут не в передел, а исключительно на литье, и потому стоимость передела выведена мною неверно.

Самый дешевый передельный чугун франко-Люксембург стоит 39.8 коп. пуд. Приняв эту стоимость, стоимость передела получится:

для сортового железа	. . . . .	40.8 коп.
» котельного »	. . . . .	53.9 »
» балок	. . . . .	44.8 »

По дешевизне передела за Германией и в этом случае сохраняется первое место, но разница сранительно со стоимостью передела в других государствах не будет так велика, как указано на стр. 184.

ПРИМЕЧАНИЯ РЕДАКТОРА

Статья напечатана в журнале «Промышленный Урал» 1920 г. Печатается с некоторыми редакционными исправлениями.

1. В тревожные дни 1918 г., когда Украина с ее металлургической промышленностью была оккупирована немцами, встал вопрос об обеспечении России сталью. На запрос правительства о реальных возможностях В. Е. Грум-Гржимайло выставил ныне осуществленный проект Урало-Кузнецкого комбината, как наиболее простой выход из положения.

Но уже в 1920 г. он выдвинул проект Северной сибирской магистрали, описанный в приведенной статье. Этот проект не исключал Урало-Кузбасса, но представлял собой более широкое решение проблемы развития уральской и сибирской промышленности и хозяйства. Вот что сам В. Е. писал по этому вопросу: «... Я горячо защищал выгоды Урало-Кузнецкого проекта. Я и теперь приветствую его всеми силами моей души и буду счастлив, если он пройдет в жизнь. Но возможности, которые открывает перед нами проект Северной сибирской магистрали, так ярки и так колоссальны, дело ее постройки так экономически выгодно, что ее ни в коем случае нельзя сравнивать с Урало-Кузнецким проектом. Это дело мирового масштаба, а не российского, как Урало-Кузнецкий проект».

Проект Северной сибирской магистрали в том виде, в каком он описан в статье, не является последним проектом В. Е. После опубликования статьи он продолжал работать над этой идеей, и последующие работы выявили новые возможности севера, которые, к сожалению, не были выявлены до конца.

Коренным добавлением к проекту явилось включение в число осваиваемых объектов бухты Индига (см. карту, стр. 173), ледовый режим которой не выявлен до конца, но которая безусловно принадлежит к числу незамерзающих. Это сразу открыло новые широкие возможности, масштаб которых превосходит ожидания.

Северная сибирская магистраль в ее первоначальном, описанном в статье, виде решала следующие задачи:

1) освоение единственного в своем роде в мире нетронутого лесного массива и экспорт леса;

2) снабжение уральской промышленности древесным углем;

3) создание мощной химической промышленности на базе продуктов сухой перегонки дерева;

4) создание пути для кратчайшего вывоза северо- и восточносибирских товаров на экспорт, минуя Карские ворота — ахиллесову пяту водного транспорта северных морей.

Добавление к первоначальному проекту железнодорожной линии Петропавловск—Индига, решало дополнительно следующие задачи:

5) сокращение пути товаров до морского незамерзающего порта более чем на 1000 км;

6) освоение североуральского лесного массива;

7) освоение Ухтинского нефтяного месторождения;

8) создание наикратчайшего выхода для экспорта товаров Западной и Южной Сибири.

После геологических открытий последних лет к этому добавлялись:

9) создание выхода для экспорта соликамских калийных солей;

10) снабжение Северного Урала печорским углем.

Таким образом В. Е. считал, что помимо построенных уже и подлежащих постройке заводов на Урале, в том числе и Урало-Кузнецкого комбината, предназначенных, по мысли В. Е., для переплавки грязных по сере и фосфору руд Урала (см. табл. на стр. 197),—необходимо создание на Урале на базе его чистых руд мощной древесноугольной промышленности, которая должна дать качественный и дешевый металл.

У всякого читающего этот проект естественно должен встать вопрос об электроплавке, как о способе получения высококачественного металла из грязных руд, фактически не затронутый автором.

Взгляды В. Е. на этот вопрос можно найти в его статье «Пятидесятилетие первой мартеновской плавки на Урале в Воткинском заводе» (см. стр. 170), где он указывает, что мартеновская печь является настолько совершенным устройством, что введение дорогой электроплавки при недостатке электроэнергии на Урале нерационально. На чистых рудах Урала в мартене можно и должно получать прекрасную сталь.

Вопрос о белом угле на Урале разбирался В. Е. в 1922 г. при проработке вопросов намечаемой организации уральской металлургической промышленности. Его подсчеты привели к следующим выводам.

Использование гидравлической силы мелких уральских рек при условии постройки 125 плотин с напором 10 м может дать около 12—15 тыс. л. с. Эта ничтожная цифра получена им на основании наблюдений над реками Северного Урала в конце XIX века и использования материалов по проекту Волго-Обского канала. Ничтожность мощностей определяется тем, что падение рек старого Уральского хребта очень невелико, так как горных рек на Урале нет. Исключение может представлять только река Серебрянка — приток Чусовой, у которой спрямлением одного участка можно получить напор около 100 м, но дебет ее незначителен.

Несколько иначе обстоит вопрос с крупными уральскими реками — Белой, Уралом, Уфой, Юрезанью, притоками Камы, притоками Тобола. Построив плотины на этих реках с напором до 50 м, можно получить по подсчетам В. Е., мощность до 170 тыс. л. с. Признавая эту мощность недостаточной для промышленности Урала, В. Е. пришел к выводу, что на Урале гидравлической мощности для использования металлургической промышленностью не найдется.

Подсчеты В. Е. гидроресурсов Урала преуменьшены, так как он не брал в расчет энергии крупных рек Камы и Волги. Потенциальные энергетические гидроресурсы этих рек значительно превышают мощность Днепровской ГЭС, и его утверждение о бедности Урала гидроэнергией не соответствует современному взгляду на это дело.

2. *К стр. 181 и др.* Правильно понимая преимущества планового начала в организации промышленности, В. Е. Грум-Гржимайло в нескольких статьях того времени (1920—1922 гг.) выступал в защиту идеи и практики организации трестов в металлургической промышленности. В статье «Что может дать Уралу объединение денежной отчетности в трестах?» (Урал, 1922, № 1), В. Е. убедительно доказывает, что объединение денежной отчетности необходимо не только для «спекулятивных трестов», которым, конечно, нет места в нашем государстве, но и для наших заводов, так как эта объединенная денежная отчетность ярко освещает убыточные производства и причины этой убыточности на некоторых заводах.

Однако в печатаемой в настоящем сборнике статье, относящейся к 1920 г., В. Е. в своей аргументации в защиту идеи трестирования промышленности отрывает этот вопрос от природы государства, что видно из его искусственного деления трестов на два вида — «спекулятивные» и «неспекулятивные», допуская и для капиталистического хозяйства возможность существования идеализируемых автором «научно-промышленных», лишенных спекулятивной природы, объединений. Эта идеализация находит свое выражение в настоящей статье и строках, посвященных шведской металлургической промышленности.

3. *К стр. 186.* Сравнивая вычисления В. Е. по производству и потреблению чугуна в 1940 г. с действительно достигнутыми нашей страной количественными показателями, мы получим следующие цифры:

а) Выплавка чугуна за год:

Предположение В. Е. . . . . 728 млн. пуд. = 12 млн. тонн

Действительная выплавка в 1940 г. . . . . 15 млн. тонн

б) Выплавка чугуна на 1 душу населения в год:

Предположение В. Е. . . . . 3.31 пуда = 54 кг.

Действительная выплавка в 1940 г. . . . . ~ 75 кг.

МЕТАЛЛУРГИЧЕСКАЯ ПРАКТИКА СТУДЕНТОВ

Студент, попавший на практику на завод, через несколько дней не знает, что с собой делать. Не знает и цеховое начальство, к какому делу его применить. Из сказанного очевидно, что организация практики студентов — дело, о котором нужно подумать.

В металлургический завод ведут две двери: одна — через лабораторию, другая — через чертежную. Это девиз, которым с издавна руководилось металлургическое отделение Петроградского политехнического института. Вероятно, им же руководится и металлургический факультет Ленинградского политехнического института.

Познакомиться с этим двумя дверьми и должен студент во время практики.

Склонности некоторых студентов влекут их к работам лабораторным, других, напротив того, привлекают конструкции, но в студенческие годы полезно пройти практику в обоих этих направлениях, чтобы во время службы в равной мере не бояться и карандаша, и пирометра, и пробирки. Чтобы удовлетворить этим требованиям, практика должна быть трехгодичная.

Первая практика: зарисовка от руки всех устройств завода или цеха. К концу лета студент должен научиться рисовать с натуры все, что происходит перед его глазами. Черновики дома должны быть приведены в порядок и обведены по линейке. Это развивает конструктивную память, мышление в пространстве, чувство пропорции и воображение и наилучшим образом знакомит его с производством завода. Собирание статистических сведений по производству, чем специально занимаются наши студенты, не так полезно, как об этом принято думать.

Вторая практика: в лаборатории химической, металлографической, теплотехнической, инженерной. Такая работа дает *навыки и лабораторные руки*, чего нельзя требовать от учебных лабораторий высших учебных заведений, дающих только знания.

Третья практика — уже согласно склонности: или в лабораториях, или в конструкторском бюро, платное исполнение заданий завода по исследованиям устройств или небольшие конструктивные задания. Студенты, не любящие лабораторных работ, с явно выраженным стремлением к конструкциям, могут избавляться от лабораторной практики и провести все три года над чертежными работами. Но мы не советовали бы химикам избегать первой практики и обучения рисовать с натуры.

Кончающие инженеры, в конце концов, должны иметь: или хорошие лабораторные руки или должны хорошо, по-заводски, чертить. Если эти навыки не получены в высшей школе, они должны быть приобретены после

высшей школы во время практикантских годов. Без этой подготовки, без умения лично работать молодых инженеров брать в цех не следует.

К сожалению, русские инженеры часто возбуждают насмешки заводских людей. Вспоминаю насмешку старого практика, обращенную ко мне: «Заметили ли вы, В. Е., что русские инженеры никогда сами не чертят, а только руководят черчением». Увы, это правда. В своей жизни я встретил только несколько инженеров-металлургов, работающих лично карандашом.

Так же редки химики-экспериментаторы. Большинство молодых инженеров стремится в цех изображать начальство. Это громадная ошибка. Цех от молодого инженера никогда не уйдет. Но надо итти в цех, хорошо подготовившись, или в качестве химика или же — конструктора.

Неспособность что-либо лично сделать своими руками хорошо учитывается их подчиненными и не увеличивает их морального авторитета в цехе и заводе. Над ними смеются их подчиненные. Инженер ценен в заводе постольку, поскольку он обладает мышлением химическим или конструктивным и умением свою идею провести в жизнь. Чтобы быть хорошим администратором, хорошим хозяином, хорошим торговцем, не надо специального инженерного образования. Нужные сведения, навыки приобретаются во время службы; жизнь — наш всеобщий учитель в этой области; успевает тот, кто от природы одарен светлым умом, большой памятью, трудоспособностью и несокрушимой энергией. Настоящая инженерная карьера кончается начальником цеха, инженером-конструктором и строителем. Место главного металлурга или главного инженера завода — закат технической карьеры. Технический директор обыкновенно не решается уже на самостоятельные распоряжения и зовет на помощь начальника цеха. Главному же управляющему о технике думать некогда.

Но у всех этих лиц высших ступеней заводской иерархии должна быть школа, которая выражается умением думать до конца, а не заниматься верхоглядством и широковещательным словоизвержением. Заводская практика, как и все техническое образование, должна учить доводить начатое дело до конца, до его практической пригодности. А этому учатся в чертежной и лаборатории, лично разрабатывая какую-нибудь идею.

Полезно ли студентам работать в заводах в качестве рабочих? Это зависит от того, какая работа. Мы рекомендовали студентам становиться заслонщиками у мартеновской печи. Работа физически легкая, безответственная, но работа, на которой студент *много видит*. Такая же работа — мазильщиком у прокатного стана, помощником монтера, электротехника. Опять-таки и на этом месте можно много видеть. Но вообще работа в качестве рабочего утомительна, требует много сил и не дает за это того, что от нее можно бы ожидать. Ставить студентов на тяжелую физическую работу — совершенная бессмыслица. Добиваться мастерства в ремесле рабочего — потерянное время. Во время практики студент должен мыслить, а тяжелая физическая работа отнимет у студента много времени и сил и затруднит наблюдение и размышление. Работа в заводе в качестве рабочего имеет одну хорошую сторону. Она учит молодого человека уважать рабочего, мастера своего дела. Но это средство этического воспитания молодежи слишком дорого. Влияние старших инженеров, практика действительной работы в цехе очень скоро укажет молодому студенту ценность «уменья» и «мастерства» рабочих. Уважение явится естественно как результат такой оценки достижений мастеров.

Студенчество — время, когда человек приобретает знания и воспитывает волю. Лекции, упражнения, книги дают знания. Лаборатория и чер-

тежная воспитывают волю. Чертежи, анализы, делаемые в высшей школе, имеют в себе мертвящее начало. Анализ или проект студента никому не нужен, кроме него самого, судьи очень снисходительного. Работа делается для зачета, т. е. для канцелярской отметки, свидетельствующей, якобы, о том, что студент что-то знает и может «*называться*» инженером. Но «*называться*» инженером и «*быть*» инженером не одно и то же. Заводской анализ, заводской чертеж *нужен*. Здесь ошибаться — преступление. Сделать наспех, кое-как нельзя, ибо на вас лежит ответственность за каждую цифру. Начатое дело всегда доводится до конца, ибо оно *нужно*. Работа должна быть сделана так, что лучше она сделана быть не может. Это школа *воли* и *добросовестности* в работе, которой *всегда* обладают заводские практики и которой часто не бывает у инженеров-неудачников. Итак: школа учит — завод воспитывает. Летняя практика есть подготовительная ступень к заводской чертежной или лаборатории, через которую молодой инженер проходит в цех — конечный пункт его технического развития. Заполнение заводских должностей, помимо лабораторий или чертежной, при помощи института практикантов или сменных инженеров, дежурящих, но не работающих в цехе, должно быть признано одним из серьезнейших дефектов нашей системы подготовки инженеров.

О СТУДЕНЧЕСКОЙ ПРАКТИКЕ

(Письмо в редакцию)[1]

Проф. В. Е. Грум-Гржимайло в своей статье «Металлургическая практика студентов» указывает только две двери в металлургический завод — одну через лабораторию и другую — через чертежную, указывая, что это девиз металлургического отделения Ленинградского политехнического института.

Окончив металлургическое отделение названного института (в 1912 г.), я не могу согласиться с необходимостью для студентов-металлургов толкаться в большой очереди лишь у этих двух дверей металлургического завода. Дорога гораздо шире, входов и выходов найдется больше, и к этому необходимо стремиться в особенности теперь, когда заводы, работая с неполной нагрузкой, отказывают студентам в необходимой практике.

Советовать студенту-металлургу учиться рисовать с натуры все, что происходит перед его глазами, а затем зарисованное обводить дома по линейке, мне кажется не следует, так как учиться рисованию студенту-металлургу в заводе некогда и поздно,— он должен был этому научиться (согласно программе) гораздо раньше — во второй ступени (или средней школе), и, наконец, на I курсе вуза. Студент, попадая на завод с большим трудом, должен взять от завода, как можно больше, а рисование должно быть на втором плане, тем более, что тех трех практик, на которые рассчитывает проф. В. Е. Грум-Гржимайло, в большинстве случаев студент в настоящее время не получает по не зависящим от него причинам.

---

[1] По поводу статьи проф. В. Е. Грум-Гржимайло, «Предприятие» № 7, стр. 38, 39, 1926.

Постановка занятий на металлургическом отделении, насколько я знаю по собственному опыту, так согласована с жизнью завода, что студенту не приходится чувствовать себя в заводе щенком на льду и затруднять цеховое начальство. Институт не оставлял и на лето своих учеников беспомощными, снабжая студентов «программой практических занятий на заводах» (см. брошюру 1909 г. 663 стр.), составленной, судя по содержанию, главным образом, проф. В. Е. Грум-Гржимайло. Даже по окончании институт интересовался судьбой своих питомцев, запрашивая окончивших анкетами (свыше 20 вопросов), с целью выяснить, нет ли пробелов в программе школы.

Что касается насмешек заводских людей над русскими инженерами, то, за редкими исключениями, они носят характер пустого зубоскальства, на которое не следует обращать внимания. Задача высшей школы не в том, чтобы окончивший все знал, как знает рабочий, мастер, практик-лаборант или чертежник свою специальность, но в том, чтобы *понимать* производство. Только понимание производства дает возможность найти причины дефектов его, а следовательно, указать пути к их исправлению, только понимание производства дает возможность изменять устаревшие способы производства, вводить новые. Рабочий, мастер или лаборант из практиков, прекрасно зная свое дело, работают по шаблону, установленному заранее кем-то. В заводской практике известны приемы работ и оборудования до мельчайших деталей, повторяющиеся из года в год со всеми ошибками и недостатками, так как легче всего работать по готовому шаблону, привычным приемам и устройствам; каждое же уклонение от шаблона требует мысли, сил и, кроме того, грозит риском неудачи, нападками в газетах и т. п. Задача школы — создать технического работника, понимающего производство, чтобы, вступив в практическую заводскую жизнь, такой работник, пройдя по какой-либо специальности, быстро приобрел недостающие ему узко специальные сведения.

В результате он сумеет улучшить заводские процессы и оборудование, и чем шире его кругозор, тем глубже его понимание, тем смелее, правильнее будет его работа, тем ближе к делу он будет решать поставленные ему производством задачи. Для понимания производства надо знать его теоретические основы. Уменье пользоваться теоретическими знаниями, уменье учиться не только из книг, но и из живой заводской практики, уменье находить причины своих ошибок и во-время исправлять их — вот что делает хорошего заводского работника. Это умение надо развивать в школе. Главными средствами для этого являются лабораторные работы, практические занятия в мастерских института, почему с заявлением проф. В. Е. Грум-Гржимайло о том, что «чертежи, анализы, делаемые в высшей школе, имеют в себе мертвящее начало», согласиться нельзя.

Все зависит от того, как относиться к этой работе. Меня лично лабораторная и чертежная работа школы всегда выручала и выручает в трудные минуты жизни.

Нельзя также согласиться, что должность главного металлурга или главного инженера — закат технической карьеры.

Как высшая школа не является закатом образования, как профессура не является закатом научной деятельности, так и высшая техническая должность не должна быть закатом деятельности инженера, а должна лишь расширять его кругозор.

Инж.-металлург *В. Буталов*

ОТВЕТ ПРОФ. ГРУМ-ГРЖИМАЙЛО

Письмо В. А. Буталова, одного из способнейших моих учеников, грешит субъективностью. Свои личные переживания он переносит на всю массу студентов, и в этом его ошибка. Он стал студентом б. С.-Пб. Политехнического института, имея большой заводской стаж, будучи уже хорошим чертежником и имея прекрасные лабораторные навыки; для него, как старого заводского служащего, конечно, были открыты все двери во все цехи заводов, и он не чувствовал себя в положении щенка на льду. Поэтому для него было прекрасным то руководство для практических занятий для студентов, которое было составлено при моем участии, но авторы этого руководства, читая отчеты студентов по летней практике, видели, что руководство мало помогало молодым студентам.

Насмешка над русскими инженерами, что они только руководят черчением, а сами никогда не чертят, к сожалению, не зубоскальство. Сейчас я заведую бюро металлургических и теплотехнических конструкций. Сколько первоклассных инженеров просилось в мои сотрудники! Талантливейшие люди, прекрасные инженеры, интереснейшая работа... Я говорю им всегда одно и то же: «Мое бюро — маленькое учреждение, живущее за свой счет, без единой копейки субсидии. Здесь мы все, начиная с меня лично, работаем карандашом. Если Вы можете сесть за чертежную доску — милости просим». В заключение старых инженеров, умеющих держать карандаш в руках, я не нахожу. Учу молодежь, не испорченную жизнью.

Все, что пишет В. А. Буталов о необходимости научной подготовки инженеров, совершенно совпадает с тем, что писал я. Он обрушивается на меня за «мертвящее начало» в постановке студенческих работ в высшей школе. К сожалению, он не читал студенческих дипломных работ. Не все студенты «арапы», но их довольно. И, со своей стороны, «арапы» правы.

Ведь их проект завода — не в самом деле проект завода. Ведь спроектированная машина не будет строиться, печь не будет работать. К тому же студенты принуждены работать наспех. Они не могут прорабатывать темы до конца. Это создает нездоровую обстановку этих работ. Как далеки студенческие работы от ньютоновского афоризма: «гений есть терпение мысли». Мы, их учителя, не можем им сказать двустишье:

«Мудрец тем разен от глупца,
Что все доводит до конца».

Сказать это им — значит зарезать студентов. В их программе набито столько разнороднейших предметов, что студент принужден глотать их, не прожевывая. Это очень вредно. Это приучает слабых характером людей к легкомысленнейшему отношению к самым серьезным предметам. Многие из них в жизни за все берутся, ничего не кончают и делаются неудачниками. Это темная сторона нашего инженерного образования.

Конечно, гораздо лучше писать: «на Шипке все спокойно» и не желать видеть того, что делается вокруг нас. Но в этом не заключается моя задача. Я кончаю жизнь, и когда меня спрашивают, что я вынес из жизни, я говорю то, что знаю, а не комплименты меня окружающим.

В заключение забавная оговорка. Я писал о двух дверях, ведущих в завод. В. А. Буталов пишет: «дорога гораздо шире, входов и выходов найдется больше». Я думаю, что о выходах из завода можно бы и не заботиться; их обыкновенно указывают. С людьми, прошедшими через чертежную и лабораторию, это будет случаться реже.

ПРИМЕЧАНИЕ РЕДАКТОРА

Статья напечатана в журнале «Предприятие» в 1926 г. (7).

В отношении этой статьи, а также печатаемых вслед за ней статей «Каковы должны быть молодые инженеры» и «Организация исследовательских институтов» следует иметь в виду, что они были написаны В. Е. Грум-Гржимайло в то время, когда присущие старым, дореволюционным условиям недостатки в организации высшего технического образования и научных исследований еще не были изжиты, а необходимость неразрывной связи науки и практики, которую всегда горячо отстаивал В. Е., не была еще осознана многими учеными.

Содержащиеся в этих статьях В. Е. практические предложения по ряду вопросов отличны от тех организационных мероприятий, которые легли в основу перестройки работы высшей технической школы и научно-исследовательских институтов, однако эти статьи безусловно представляют интерес, как выражение оригинальных мыслей крупного ученого, одного из основоположников русской металлургической школы, вся деятельность которого была направлена на развитие отечественной промышленности.

КАКОВЫ ДОЛЖНЫ БЫТЬ МОЛОДЫЕ ИНЖЕНЕРЫ

Один из самых крупных наших современников, знаменитый академик Ле-Шателье рассказывает в своей книге «Введение в металлургию», под влиянием каких идей он создал свой курс. Когда он получил кафедру металлургии, перед ним встал вопрос: чему он должен учить своих учеников, будущих молодых инженеров? Он обратился к двум самым крупным инженерам Франции с этим вопросом, и каково было его удивление, когда оба они ответили совершенно одно и то же: молодые инженеры должны быть хорошо подготовлены по теоретическим дисциплинам. Величайшая ошибка учить в школе практике. Практика есть дело старых заводских людей, которые обучат молодых инженеров практике в заводах скорее и лучше, чем в школе, если эти молодые люди хорошо подготовлены теоретически. Если же их научная подготовка слаба, из них никогда не удается сделать хороших инженеров.

На основании этого принципа Ле-Шателье построил свой курс металлургии, который был и есть руководство и образец для нас, профессоров металлургии.

Вот эта краткая выдержка из предисловия Ле-Шателье и есть ответ на поставленный Главным управлением металлургической промышленности вопрос, каковы должны быть молодые инженеры. Все дальнейшее, что я здесь напишу, будет развитие только этой основной идеи об исключительной необходимости для молодого инженера твердой теоретической базы и бесполезности траты драгоценного времени учения на изучение «практических приемов работы в заводах».

Я назвал время учения драгоценным. Да, оно особенно ценно потому, что молодость преходяща. Молодость обладает такой колоссальной поглотительной способностью в усвоении новых идей, таким энтузиазмом в этом усвоении, каким не обладает зрелый возраст. А потому расходовать молодость надо весьма экономно. Вот первый и громадный грех нашей высшей школы. Она выпускает инженеров редко ранее 24—25 лет, а весьма часто высшую школу кончают люди с седеющими волосами.

Вспоминаю газетную статью по этому поводу Д. И. Менделеева в 1905 г., где он настаивал на необходимости кончать высшую школу в 21 год. В этой статье он писал, что сам кончил университет 20 лет, а 21 года уже научно работал и читал лекции.

Менделеев смотрел на высшую школу, как на период подготовки к работе, и считал необходимым выпускать в жизнь гибких, свежих, сильных людей, а не людей, утомленных слишком затянувшимся учением, т. е. принудительным усвоением знаний, к которым человек уже потерял интерес.

Мой личный опыт говорит то же самое. В 1885 г. Горный институт в С.-Пб. кончило 22 человека. Из них двое 21 года; это были М. А. Павлов, ныне профессор металлургии Политехнического института в Ленинграде, и автор сей записки — В. Е. Грум-Гржимайло. Из всего выпуска живы, кажется, теперь только мы двое. Оба мы всегда отличались громадной трудоспособностью как во время работы в заводах (М. А. Павлов — пятнадцатилетней, я — двадцатидвухлетней), так и во время нашего профессорства. Несмотря на исполнившийся сорокалетний юбилей нашей работы, оба мы работаем и сейчас с полной нагрузкой.

Очевидно, раннее окончание нами курса высшего учебного заведения не подорвало наших сил, так же как и сил Д. И. Менделеева. Какая же выгода раннего окончания курса? Мы вышли из Горного института с волчьим аппетитом к усвоению знаний. Вспоминая многих своих однокашников-сослуживцев, я вспоминаю их стремления прежде всего хорошо пожить, их глубокое равнодушие чему-нибудь научиться или узнать. Большинство их не скрывало своего равнодушия к делу; они высмеивали мою жажду знаний, которая им была крайне неприятна. Что наша школа дает громадный контингент людей двадцатого числа — хорошо известно. Пассивность нашей интеллигенции во время революции, шкурничество во время войны есть в значительной степени результат школы. Вот причина, почему на этом вопросе нужно остановиться.

Всякая школа работает по определенному учебному плану, общему для всех студентов данного факультета. План проводится принудительно при помощи зачетов, под угрозой не дать звания, не дать свидетельства об окончании курса. Это грустная, но неизбежная сторона всякой школы, с ней приходится считаться. Принудительное питание студентов знаниями, не сообразуясь с их психической природой, крайне тягостно вообще и нестерпимо в зрелом возрасте. Гибкость молодой души легче переносит это насилие над природой человека и потому оно вызывает в молодом человеке меньше отвращения, чем в зрелом человеке.

Поясню сказанное примерами.

В С.-Пб. Политехническом институте в дореволюционное время был прием по конкурсу аттестатов, при условии запрещения перехода с одного факультета на другой на I курсе. Ко мне, по должности профессора заведующего студентами, явился однажды только что принятый студент с просьбой перевода с инженерно-строительного факультета на экономический. Я, конечно, ему отказал; он пришел второй раз, третий раз, я его прогнал, но, наконец, я увидел, что тут не простое шлянье с факультета на факультет и не торговля вакансиями, а нечто серьезное. Что же оказалось? Человек кончил классическую гимназию с золотой медалью и оказался абсолютно лишенным способности пространственного мышления. Начертательная геометрия и черчение оказались для него запретной областью. Несмотря на двухмесячную работу исключительно над начертательной геометрией, он не мог понять ее первых страниц. Пришел в отчаяние и добивался перевода на экономическое отделение. Я принял в нем участие и с трудом уговорил декана экономического факультета, против всех правил, дать ему возможность работать на экономическом факультете. Через 5 лет он блестяще кончил экономический факультет и заслужил восторженный отзыв того же декана, которого я с таким трудом уговаривал принять студента на факультет.

Лично я обладал феноменальной памятью в областях, меня интересующих, но, разобрав по мастям четырнадцать карт при игре в винт, я часто не могу их повторить. И мне пришлось зубрить стихи, которых я терпеть не мог, грамматику, минералогию, палеонтологию, катехизис и пр. и пр.

Молодость взяла свое. Я не только превзошел все это, но у меня не осталось даже злого чувства по отношению к школе, где все это меня заставляли проделывать. Но проделать второй раз эту историю было бы для меня уже невозможно. Я живо помню мои мысли, когда я уже работал в заводе и готовил сына моего друга в реальное училище. Я думал: лучше смерть, чем вторая порция школы.

Злоупотребление памятью учащихся — самое распространенное злоупотребление в нашей школе. Но возьмите кажущиеся такими легкими лабораторные занятия, количественный анализ, черчение и проектирование, сложные арифметические расчеты конструкций и тепловых балансов. Возьмите, например, изучение анатомии, этой грозы медицинского факультета. Трудность ее усвоения зависит от того, что она требует наличия двух качеств: прекрасной памяти и способности пространственного мышления, способности редкой, которую наша элементарная школа почти не упражняет. Каждый из перечисленных предметов требует особой психической природы, и каждому человеку дается легко только один-два рода дисциплин, остальные даются с трудом, как ему несвойственные.

Школа не считается и не может считаться с природой каждого студента. Молодость является в этой коллизии примиряющим элементом, а когда ее нет? Как трудно дается школьная дисциплина учащемуся и как часто результаты ее отрицательны. Бурса Помяловского живет в высшей школе и доселе, хотя и в более приличной форме.

Чем объясняется продолжительность нашего школьного обучения? Ложным желанием программы научить человека на все случаи жизни. Наши профессора смотрят на молодого инженера, входящего в жизнь, как на судно, уходящее в океан. Тут все должно быть предусмотрено: и штиль и ураган, и холод и жара, и жажда и голод, и пожар, и подводный камень, и болезнь и смерть. Ниоткуда никакой помощи.

Так смотреть на техническую работу инженера — большое заблуждение. Жизнь есть путешествие по железной дороге с хорошими буфетами, врачебной помощью, с возможностью при аварии пересадки на другой поезд. Молодой инженер во все время своей технической работы имеет возможность учиться и пользоваться помощью со всех сторон, а потому загромождать его арсеналом всевозможных сведений на тот случай, что ему и то и другое может когда-нибудь сгодиться,— большая ошибка.

Наш современный молодой инженер — это путешествующая Коробочка с двадцатью необходимыми местами ручного багажа в международном вагоне скорого поезда, с буфетом и всеми удобствами. И на это тратятся молодые, лучшие годы жизни.

Так и хочется сказать нашим создателям учебных планов: побольше доверия к окружающей нас жизни, побольше доверия к силам молодых людей, которых вы воспитываете.

Что же нужно молодому инженеру, вступающему в жизнь? В чем должно заключаться то «шильце и мыльце», которое всякий солдат берет с собой в поход? Ле-Шателье прекрасно его определяет: глубокая теоретическая подготовка и никакой практики. Практику молодой инженер найдет на своем жизненном пути; практика едет с ним в вагоне-ресторане, ею не нужно запасаться на весь жизненный путь; она зачерствеет, сделается негодной для применения, устареет. Зачем же тратить на нее молодые, самые дорогие силы?

Итак, если в задачу высшей школы поставлено воспитание инженеров-тружеников, а не людей двадцатого числа, то бережное отношение к затрате молодых сил должно быть поставлено во главу угла. «Ничего лишнего» — вот что должно быть написано на дверях высшей школы.

Французская высшая школа резко делит весь курс на две половины: а) теоретическую и б) прикладную. Их разделяет весьма строгий экзамен, который студент держит до тех пор, пока не выдержит, хотя бы двадцать раз. Только выдержанный экзамен открывает ему двери второй половины школы. Наша программа грешит тем, что студентов уже с первого курса начинают развлекать общими курсами прикладного знания и курсами, якобы, для общего развития: например, общий курс машиноведения и металлургии, а медикам читают даже минералогию и геологию. Эти побасенки занимают время и являются, конечно, балластом, от которого французы оградили свои школы. Что же касается математики, теоретической механики, то у нас их затягивают до третьего курса, что совершенно недопустимо.

Студенты с большой охотой слушают побасенки и откладывают математику и теоретическую механику иногда до конца курса.

Это откладывание — величайшее зло нашей школы; студенты слушают прикладные науки, не сдав экзамены по теоретическим дисциплинам, т. е. наполовину не понимая читаемого предмета. Французская школа счастливо избежала этих трудностей, устроив барьер в виде экзамена сразу по всем теоретическим предметам.

Указанные неполадки нашей высшей школы затягивают время прохождения школы студентами, но не влияют на качество и глубину познаний молодых инженеров. Будучи за границей, я спрашивал, как довольны французы и бельгийцы работающими среди них русскими инженерами, и получал самую лучшую аттестацию об их подготовке. То же слышал проф. Маковецкий в Америке. То же говорил К. Д. Калясников относительно Англии.

Что касается специальной части курса нашей школы, то она страдает многопредметностью и должна быть сокращена и урезана.

Буду говорить о металлургическом факультете, лучше мне знакомом. В металлургический завод ведут две двери: одна через лабораторию, другая через чертежную. Психика некоторых студентов-металлургов располагает их к занятиям в лабораториях, других — в конструкторских бюро. Казалось бы, было бы логично так и делить студентов-металлургов: одних делать металлургами-механиками, других химиками и металлографами.

Наша школа не желает с этим помириться и заставляет проходить всех металлургов обе специальности, да кроме того, навязывает им же, кроме металлургии черных металлов, и металлургию цветных металлов, и литейное дело, и технологию металлов, и множество никчемных предметов.

А по существу нужно ли вообще преподавать металлургию? Я помню мой разговор с одним французом, по образованию химиком, заведывавшим доменными печами одного крупного завода на юге России. Он утверждал, что его химическое образование гарантировало его всегда от ошибок при ведении доменных печей, и он не помнит случаев, когда бы он встал втупик при решении металлургических вопросов. Действительно, это был прекрасный инженер.

Я читал производство стали восемь семестровых часов при полной аудитории. Некоторые студенты слушали меня по два раза подряд и говорили, что второй раз слушали с большей для себя пользой, чем в первый. Экзаменатор я был всегда весьма снисходительный. Почему же меня слушали? Это находится как будто в полном противоречии со всем вышесказанным. Секрет весьма простой. Я читал только теорию. Но на своих лекциях я учил студентов думать, доискиваться первоначальных явлений, которые им описывал. Я раскрывал перед ними теоретическую сущность принятых

конструкций, учил их критиковать, рассказывал об ошибочных приемах работы и ошибочных конструкциях. Все это было интересно и полезно, потому что во мне они имели старого заводского человека, видавшего виды, и учителя заводской логики. Меня слушали так, как молодежь всегда слушает бывалого старика.

Отнимите из моих лекций эти необязательные дополнения и изложите производство стали только как научную дисциплину. Получите коротенькое приложение принципа Ле-Шателье, коротенькую иллюстрацию теории растворов, что студенты знали и знают из курса физической химии. Для лектора, имевшего что рассказать, и восьми семестровых часов для курса производства стали было мало; для нормального преподавателя этого времени слишком много.

Как усваивали мой курс студенты? Я часто их об этом спрашивал. Одни говорили, что он бесконечно труден, другие, что он сам лезет в голову и подготовка занимает всего 1—2 дня, ибо все ясно и просто и не требует запоминания. Эти противоречивые отзывы для меня были совершенно ясны. Студенты, плохо усвоившие физическую химию, не думающие химически, старались запомнить мой курс и трудно с ним справлялись. Для хорошо подготовленных студентов мои лекции были интересные частные случаи общих, хорошо им известных законов, и только. Им готовиться к экзамену было не нужно. Разница была, таким образом, в теоретической подготовке студентов. Из первых хороших инженеров не выйдет, для вторых мои лекции были очень полезным и приятным упражнением мысли, но не были необходимостью.

Вспомните наш девиз «ничего лишнего», и восьмичасовой курс производства стали можно было сократить втрое при условии, что студенты хорошо проштудировали раньше физическую химию.

Но представьте себе весь ужас положения, если добросовестный преподаватель заполнит восемь семестровых часов «данными практики», «размерами», «результатами производства» и прочими атрибутами современной технической литературы. Из металлургии стали можно сделать ту же науку бурсы Помяловского, с теми же результатами. И делают...

Во время моего студенчества мне удалось слушать двух выдающихся лекторов химии: профессора Горного института К. Д. Сушина и Д. И. Менделеева.

К. Д. Сушин был замечательный лектор. Он читал лекции, так сказать, руками. При громадном экспериментальном таланте он жил в лаборатории и дышал лекциями. Перед глазами аудитории проходила бесконечная серия опытов; мы все видели своими глазами, щупали своими руками, нюхали, пробовали на вкус. Мы «вкладывали персты в раны», мы знакомились с природой. Его постоянными сотрудниками были великолепная коллекция всяких образцов, все, что могло чему-нибудь нас научить, как то: для ядов — крысы, мыши; для демонстрации противогнилостного влияния древесного угля он притащил на лекцию труп кошки, положенный им заранее в древесный уголь. Фактическая сторона неорганической химии врезывалась в память слушателей на всю жизнь. Ее нельзя было не знать.

Теории химии он не придавал никакого значения и ее не читал.

Слушая К. Д. Сушина, я увлекался в то же время «Основами химии» Д. И. Менделеева и решил его послушать в университете, пробравшись туда «зайцем» (допуск в университет посторонних лиц строго преследовался в то время). В середине года я слушал у него лекцию о воде, так медленно излагал он свой курс. Ни одного опыта. Ни одной цифры. Его двухчасовая лекция в «Основах химии» занимала всего несколько строчек. Но всю лекцию Д. И. учил нас, как надо наблюдать явления обыденной жизни и как их понимать. Я вышел очарованный. Да, это учитель. Он передавал своим ученикам свое умение наблюдать и мыслить, чего не дает ни одна книга. Вот два антипода лекционной системы. Оба таланта, но талант Д. И. Менделеева, как учителя мыслить, был исключительный.

Подойдите к этим двум лекторам с часами в руках. Талантливое изложение К. Д. Сушина данной главы потребует, скажем, два часа времени. А сколько на это употребит Д. И. Менделеев? Он сам этого не знает. Циркуляры, программы, часы, оплата втискивают обоих этих лекторов в одну рамку, и вот здесь причина бесконечных споров о числе часов, необходимых для прохождения данного курса. Педагоги, делающие из инженеров Коробочку с двадцатью местами ручного багажа, боятся чего-нибудь не досказать студенту в школе, не додать ему рецептов на всю жизнь и не думают совсем о том, что все, что знает человечество, написано в книгах, и надо облегчить инженеру только чтение этих книг, а для сего он должен знать только математику, физику и химию. Остальное приложится само собой. В жизни, во время службы в заводе, он прочитает все, что ему надо, продумает, соберет новейшие достижения науки и техники и выйдет безбоязненно из самых трудных положений; он будет великолепным инженером, при одном условии, однако, что вы не убьете в нем интереса проделать всю эту работу двадцатилетним пребыванием в школе, на положении малолетнего, не имеющего своей воли.

Сказанное приводит меня к выводу, что строгая регламентация числа часов для отдельных предметов высших учебных заведений не нужна. Высшие учебные заведения могут специализироваться, смотря по местным условиям и потребностям в инженерах данной специальности и даже исходя из личного состава преподавателей. При наличии среди преподавателей таких учителей, каковым был Д. И. Менделеев, программа и распределение числа часов факультета может быть резко нарушена. И в этом есть логический смысл. Когда Д. И. Менделеев учил химически думать, он делал не только свою работу, не только работу всего цикла химических наук, но работу всего Естественного факультета. Таким лектором в С.-Пб. Политехническом институте по механике был В. Л. Кирпичев. Его аудитория, вмещавшая 800 чел., была всегда полна. Почему? Да потому, почему была полна и аудитория Д. И. Менделеева. Это тоже был учитель думать, как должен думать механик. Попредметная специализация высших учебных заведений будет для России при нашей бедности профессорами только выгодна.

Беру ту же металлургию. Она делится на металлургию черных металлов, цветных металлов и благородных металлов. Промышленности в год нужно десяток, полтора десятка инженеров-цветников. Есть ли смысл читать металлургию цветных металлов на всех русских металлургических факультетах? Никакого. Эти кафедры весьма выгодно закрыть в большинстве факультетов, оставив две-три, но хорошо обставив их преподавательским персоналом и лабораториями. Для воспитания металлургов, их научного кругозора достаточно изложения особенностей цветной металлургии в теории металлургических процессов кафедры общей металлургии. Особенно выгодна специализация механических факультетов. Опять-таки обучать всем приложениям механики каждого студента совершенно лишнее. Нужно дать каждому студенту только основные курсы. Когда даны твердые теоретические основы, переход от одной специализации к другой не представляет для молодого инженера никакой трудности и может быть им сделан даже самостоятельно.

Характер преподавания прикладных наук служит предметом многих споров. Весьма часто даже от профессоров приходится слушать, что вуз должен давать промышленности готовых работников. Это ошибочно. Встав на такую почву, мы действительно будем учить студентов до седых волос, и никогда не научим, ибо научить «всему» и «на всю жизнь» значит объять необъятное. При преподавании прикладных наук должен быть поставлен девиз: «Школа дает знанье, но не уменье». Уменье должны давать практические годы в заводе.

Практикантство в заводах поставлено у нас отвратительно. Заводы не знают, что делать с молодыми инженерами-практикантами, а между тем это одно из существеннейших средств образования молодого инженера.

Я писал уже, что в металлургический завод ведут две двери: одна через чертежную, другая через лабораторию. Молодые практиканты должны проходить в завод через одну из этих дверей, и в высшей степени ошибочно позволять им эти двери миновать и попадать в цех помимо них.

Высшее учебное заведение в отведенное время может только научить студента, как надо чертить, как надо работать в лаборатории, но оно не может дать ответственного конструктора или исследователя. Для этого надо не меньше 2 лет работать в конструкторском бюро или лаборатории, в условиях завода. Только в заводской лаборатории и чертежной дается уменье и формируется инженер-специалист. Тут он имеет время, не торопясь, познакомиться с технической литературой, прочитать и проштудировать специальные курсы, набить руку в работе, осмотреться в заводской обстановке и хорошо подумать о социальных отношениях и о своей линии поведения в цехе.

Таким образом, образование инженера распадается резко на три периода: 1) изучение теоретических основ (математика, механика, химия, физика), 2) изучение основных прикладных наук, 3) работа в заводской чертежной или лаборатории, приобретение уменья в работе и специализация в определенной области в практикантские годы.

Дипломные работы и проекты выгодно перенести на окончание практикантских лет в заводах, что даст экономию в целый год для студента и заставит его серьезно отнестись к своим практикантским работам.

Современные дипломные работы и проекты ведутся при крайне неблагоприятных условиях: студент голодает, весьма редко студент делает нужную ему или кому-нибудь работу; дипломные проекты все безусловно отправляются в печь, хорошие дипломные лабораторные работы обыкновенно печатаются и поступают, таким образом, в общую сокровищницу, но зато они очень часто так далеки от жизни, что не приготовляют студента к его будущей деятельности.

В Петроградском политехническом институте много дипломных работ делалось в Путиловской металлографической лаборатории, и это оказалось чрезвычайно выгодно и заводу и институту.

Заставлять делать студента дипломный проект с тем, чтобы отправить его в печь,— это ввести в эту работу мертвящее начало. Внести отраву в первую самостоятельную работу студента,— это отравить самого студента и толкнуть его на психологический путь человека двадцатого числа. Работа должна быть полезна, нужна и ответственна. Надо приучать молодого человека к мысли, что каждый неверно поставленный или вычисленный размер грозит катастрофой для жизни рабочих или убытками для предприятия — вот линия настоящего воспитания настоящего работника. Теперешние же дипломные проекты развращают молодого инженера: «сойдет», «бумага все терпит», «не заметят» — вот к чему мы приучаем будущих хозяев предприятия.

Я был бы против резкой реформы в вопросе дипломных проектов и работ. Я рекомендовал бы высшим учебным заведениям допускать исполнение этих работ практикантами в заводах на заводские темы, но при участии и наблюдении преподавателей школы. Это выгодно и для предприятий и для школы, связывая их неразрывной цепью.

Теперь можно резюмировать все сказанное для студентов-металлургов:

1. Школа должна давать глубокую научную подготовку в теоретических науках.
2. Практический уклон высшей школы не только не полезен, но вреден, ибо затягивает бесполезно время прохождения курса.
3. Студент по окончании школы должен только знать. Уметь он научается в практикантские годы в заводе.
4. В высшей степени ошибочно учить студента на все случаи жизни. Надо дать твердые познания только основных прикладных наук данной области.
5. Преподавание предметов узкой специальности в высшей школе желательно только для студентов, специализирующихся в данной специальности в зачет практикантских лет.
6. Дипломные работы и проекты по возможности должны быть перенесены в завод и исполняться в практикантские годы в чертежных бюро и лабораториях заводов.
7. Практиканты обязательно работают 2 года в лабораториях или чертежных заводов, где и специализируются и приобретают уменье работать.
8. Первые два теоретических курса желательно отделить от специальной части экзаменом и студентов, не выдержавших экзаменов, в специальные курсы не допускать.
9. По окончании всех зачетов вуз выдает свидетельство об его окончании, а по окончании практикантских лет и защиты дипломного проекта или работы — звание инженера.
10. Программы вузов должны быть рассчитаны не более, как на $4^1/_2$ года при числе часов в неделю не более 36.
11. Надо употребить все меры, чтобы студенты кончали вуз не позже 23 лет.

ПРИМЕЧАНИЕ РЕДАКТОРА

Статья напечатана впервые в журнале «Поверхность и недра» в 1926 г. (№ 7—9). Ввиду узкой специализации этого геологического журнала и нераспространенности его среди металлургов она была перепечатана в журнале «Металлург» в 1926 г. (№ 4). См. также примечание на стр. 219.

ОРГАНИЗАЦИЯ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ ИНСТИТУТОВ

В жизни человечества за последние 50 лет произошел перелом. Чистая наука, весьма редко спускавшаяся ранее с высот платонического изучения природы, коснулась земли. Физическая химия, термодинамика, учение об электричестве разъяснили нам явления окружающей нас будничной обстановки и дали такой мощный толчок прикладному знанию, что граница между наукой чистой и прикладной исчезла.

Заводы строят обширнейшие лаборатории. Разница между Америкой, Западом и нами — огромная. Там база этого движения — сильно развитая, ворочающая громадными средствами промышленность. Наша промышленность ничтожна, средства наши весьма ограничены.

Из этого совсем не следует, что мы не должны строить исследовательские институты. Напротив того, чем мы беднее, с тем большей энергией мы должны работать, чтобы сделаться богатыми; но мы должны быть экономны в расходовании средств и не расходовать их зря. Вот об этом я и хотел поговорить здесь.

Работа исследовательского института зависит от двух факторов: 1) средства и обстановка лабораторий; 2) мозг руководителей и работников, в нем работающих.

Который из этих факторов должен пойти впереди? Казалось бы, этого вопроса не должно бы быть, так ясно и очевидно, что душа дела — в человеке, а не в стенах и приборах. К сожалению, русская действительность говорит другое. Создавая институты, мы прежде всего начинаем строить лаборатории-дворцы. А потом урезываем штаты и средства на содержание лабораторий до нищенских окладов и получаем только марку — такой-то институт, а в научном активе этого института почти ничего нет.

Чтобы найти выход из нашей действительности, надо прежде всего выяснить, где корень всякого исследовательского института? В чем залог его научного процветания и промышленной пользы, а следовательно, и экономического благосостояния? Основа всего дела — программа работ. Научные работы могут быть трех типов:

1. Накопление научного материала. По определенному, заранее разработанному методу ученый определяет известные константы, которые записываются в определенном порядке и служат всем ученым, когда в них встретится надобность.

Это чрезвычайно нужная, полезная работа; учреждение работает чрезвычайно производительно, но к этой работе наша промышленность относится довольно спокойно. Результаты этой работы когда-то кому-то понадобятся...

2. Контроль за производством. Крупные заводы строят свои лаборатории, которые по раз выработанному методу испытывают материалы и продукты. Мелкие заводы объединяются для этой необходимейшей работы в испытательные лаборатории при институтах. Но и не эти работы составляют душу института.

3. Искания. Вот здесь все помыслы, все сердце промышленности; давая деньги на институты, все думают только об исканиях.

Но хорошо сказать — искать. Что искать? Чтобы найти, надо предвидеть возможности найти. В исканиях должна быть система. Жизнь, конечно, нам, как всегда, помогает и в этом деле, но далеко не всем.

Однажды Льва Николаевича Толстого просили определить, что такое гениальность. Он ответил: «Гениальность — это свойство человека заметить то, мимо чего тысячи людей проходят, не замечая». На тот же вопрос Ньютон ответил: «Гений есть терпение мысли».

Ч. Дарвин в своей автобиографии помирил эти два мнения, как будто не имеющие ничего общего: о себе он рассказывает, что способен был думать об одном предмете десятки лет, и мелкий факт, на который никто не обращал внимания, был для него откровением и решал вопрос, так долго его мучивший. «Ищите и обрящете», но не все люди способны искать, как учил Ньютон, и находить, как учил Лев Толстой.

Совершенно очевидно, что во главе исследовательского института, поставившего себе целью научные искания, должен быть свой маленький Ньютон, Толстой или примиривший их Дарвин.

Перейду к конкретному примеру работы исследовательского института.

Производство дает пестрые результаты, получается масса брака. Промышленники говорят: «помогите, озолотим». Начинаются искания. Выясняются все возможные причины, влияющие на производство, и ставятся опыты. Но не всякий опыт дает ответ. Опыт должен быть поставлен так, чтобы решалась функция с одной переменной, уравнение с одним неизвестным. Но много ли людей, способных из функции со многими переменными исключить все, кроме одной, и поставить опыт так, чтобы выявить влияние именно этой одной переменной. Практика научных работ указывает, что такая ясность мысли — удел немногих.

Из сказанного видно, что если во главе исследовательского института нет такой светлой головы, институт, как бы богат он ни был, сколько бы миллионов на него вы ни истратили, промышленника ничему не научит.

Кадр научных искателей может быть создан только коллегией научных искателей.

И вот мы совершенно незаметно подходим к выходу из положения: надо создать Академию прикладных знаний и в ее распоряжение отдать государственные средства для создания институтов.

ПРИМЕЧАНИЕ РЕДАКТОРА

Статья была напечатана в журнале «Поверхность и недра» в 1926 г. (№ 3). См. также примечание на стр. 219.

БОЛЬНОЕ И ЗДОРОВОЕ ТВОРЧЕСТВО

В книге Оствальда «Великие люди» проводится идея, что исследовательская работа так изнурительна, что ученые принуждены бросать ученую работу и даже преподавательскую деятельность. Между строк можно прочесть, что и сам автор сделал так же, но не сообщает нам мотивов своего поступка, кроме истощения организма. При обсуждении трудности ведения исследовательской лаборатории он утверждает, что для такого ведения нужен избыточный запас идей, планов, проблем и пр. Он приводит пример Неймана, который, чтобы иметь достаточный запас разнообразных задач, не опубликовывал большей части полученных им результатов, а предлагал их в виде проблем в своей семинарии. Это не ставило его в необходимость давать экспромтом разъяснения по таким вопросам, которые не были им достаточно обдуманы.

Затем в другом месте он указывает, что юность обуславливает непринужденное мужество по отношению к трудным проблемам. Надвигающаяся старость делает ученых робкими при выборе тем.

Вот трагизм стареющего великого человека. Громкое имя требует громких работ. Падающие силы лишают человека мужества брать трудные темы, подыскивание тем делается все труднее и труднее. Наконец, падает способность усвоения новых идей. В результате неврастения и горькая старость.

Для меня из сказанного очевидно, что виною всех этих бед является совсем не изнурение организма, а нездоровая обстановка творчества в настоящее время.

Слова Оствальда: «о процессе мышления правильные взгляды может высказывать лишь тот, кто работами своими доказывает, что умеет обращаться с этим процессом» (стр. 270) дают мне смелость утверждать, что причина ранней старости мыслителей в нездоровой обстановке творчества, а не в изнурительности работы.

Мой личный опыт говорит следующее: в 1907 г. я был выброшен промышленниками, как выжатый лимон, как неврастеник, каким действительно был. Неврастения была настолько сильна, что я боялся получать письма, путался при арифметических действиях. Умножение трехзначного числа на трехзначное уже вызывало у меня тревогу, что я не справлюсь с задачей. В таком состоянии я в 3 месяца подготовился к чтению курса стали и начал его с все возраставшим успехом.

Работа, мною произведенная, весьма велика, ибо я создал курс и, кроме того, выздоровел от неврастении. Прибавлю к этому, что мои домашние дела были очень плохи и не содействовали моему душевному покою.

Высказанное убеждает меня, что мышление в нормальных условиях представляет работу не изнурительную для организма, и неврастения, которой страдали Деви, Роберт Майер, Либих, не есть следствие изнурительности работы мозга.

Я в молодости читал английский роман, повествовавший об истории молодого подававшего надежды писателя, очень скоро исписавшегося. Он упрямо продолжал выжимать из себя мысли, писал всякий вздор и в конце концов как-то скверно кончил.

Аналогия между исписавшимся писателем и изработавшимся ученым весьма близкая. Тот и другой свободно выбирают темы, *не будучи принуждены к этому ничем*... У того и у другого из их работы может ничего не выйти. Они могут не справиться с темой, и эта боязнь держит их в состоянии нервного возбуждения. В этом причина их неврастении, утомления, излишней горячности в оценке своих заслуг и прочих трагедий великих умов.

Я думаю, что творчество изнашивает организм ничуть не больше, чем всякая другая работа. Относительно конструктивного творчества я утверждаю это с полной уверенностью. Для меня создать новый тип печи — задача нескольких дней. Правда, я прилежно думаю, не сплю ночи, стираю свой проект по двадцати раз, обращая бумаги в невозможное состояние, но нахожусь в прекрасном настроении и никакого утомления не чувствую. Когда задача решена, я задаю выхрапку и принимаюсь за другую работу, развивая очень большую производительность.

В чем разница? *Я не ищу тем*. Они сами валятся на меня, как из рога изобилия. Я делаю текущую *нужную* работу. Иногда задача оказывается совершенно новой. Приходится выяснять детали, делать новый шаг в неизведанной области. Решение такой задачи доставляет особое удовольствие, как совершенно новое завоевание из области неизвестного.

Моя работа напоминает работу лабораторий при заводах, получивших в настоящее время широкое развитие и вносящих в науку массу нового.

Мне скажут: это творческая работа второго порядка. Это верно. Но она *создает потребности* в работе ученых первого порядка, которым не нужно искать и выбирать темы. Эти темы им навязываются *жизнью*. Частичное решение их уже дает результаты и принимается с благодарностью.

Я вспоминаю мой разговор о математиках с проф. Белзецким. Он отзывался об университетских математиках с большим сочувствием и сожалением: «Они принуждены себе выдумывать задачи, мы же, инженеры, открещиваемся от задач». «Проектируя мост, судно, элеватор, печь, я наталкиваюсь на необходимость решения таких задач и комбинаций, о которых никогда не думал. Приходится измышлять методы расчета, методы решения совершенно новых математических задач».

Вот существенная разница между представителями так называемой чистой науки и прикладной науки. Последние никогда не могут исписаться. Жизнь подсовывает им каждый день все новые и новые задачи и настойчиво требует их решения.

Много задач легких решается очень просто младшими членами бюро или лаборатории. Но попадаются задачи трудные, восходящие в новые области знания. Положим, они не решены, очень жаль. Приходится с этим временно мириться. Если они решены частично — это уже успех, вызывающий благодарность окружающих. Если они решены полностью,— это гордость целого учреждения. Вот здоровая атмосфера творчества.

Время от времени накапливающийся материал, ряд нерешенных вопросов выдвигает нужду в обобщении, в работе из области чистой науки. Это является требованием момента. Лаборатория ищет человека, способ-

ного сделать такую работу. Его неуспех ему не ставится в упрек, ибо все знают хорошо, что новые области не так-то легко завоевываются.

Делаю грубое сравнение: обстановка научных работ, описываемая Оствальдом, это личный спорт ученых. Друг перед другом работают они над разгадкой тайн природы. Спорт очень почтенный, но держащий спортсменов в состоянии нервного возбуждения. Отсюда споры, интриги и разочарования.

Работа научных учреждений, связанных с промышленностью, есть спокойная методическая работа, которая окупается теми промышленными выгодами, которые она дает.

Приведу некоторые примеры такой работы. При разгонке нефти, смолы и других веществ вы получаете отброс, не имеющий никакой рыночной цены. Лаборатории ставится задача: утилизировать этот отброс, поднять выход полезного продукта. Такой темы может хватить на несколько жизней. По пути ее разрешения встретятся задачи всех масштабов, до основных задач миропонимания. Но все эти задачи разрешаются в чрезвычайно мирной обстановке здорового труда, а не соперничества рекордсменов.

В своей книге Оствальд показывает полное непонимание людей практики, а между тем между ними и учеными почти нет никакой разницы.

Ученый разрешает новые проблемы в познании природы, прочно базируясь на фундаменте неоспоримых истин, открытий своих предшественников. Он базируется на науке.

Практик ищет новых путей эксплоатации природы, только частично базируясь на науке, ибо идет далеко впереди ее. Он эксплоатирует силы природы, ему еще неизвестные. Идет ощупью, угадывая верное направление по результатам своих исканий. Всякое научное открытие открывает ему глаза на причину давно известных фактов и вооружает его на новые завоевания в области неизвестного.

Роль практика и ученого может быть пояснена на примере исследования какой-нибудь неизведанной территории. Снаряжается ученая экспедиция с инструментами для определения астрономических пунктов. Как ведет она свои работы? Прежде всего ищет проводников из местных жителей, которые делают обширные путешествия без всяких карт. Русская история сохранила нам известия об отыскании прямой дороги из Суздальской земли в Киев как выдающееся событие в жизни народа. Когда территория снята учеными на карту, роли меняются. Астроном указывает проводнику кратчайшее направление и руководит им при прокладке новых путей. Так и в жизни. Практик идет впереди. За ним ученый. Когда загадка разгадана, роли меняются.

Однако посмотрим на сущность работы исследователя — практика и ученого. Сущность усилий та же, но работа практика требует более таланта, характера и затраты усилий, чем даже работа ученого.

Однако неграмотная промышленность умирает. Еще одно поколение, и вся промышленная область сделается достоянием науки. Это вместе с тем и будет началом здорового научного творчества, книга же Оствальда останется как памятник тяжелого периода, пережитого научным творчеством, оторванным от жизни.

ПРИМЕЧАНИЕ РЕДАКТОРА

Эта заметка, публикуемая впервые, была написана В. Е. в 1920 г. после прочтения книги Оствальда «Великие люди».

ТВОРЧЕСТВО ПРОМЫШЛЕННОЕ, ХУДОЖЕСТВЕННОЕ И НАУЧНОЕ

Чем глубже постигаем мы сущность законов природы, чем большие завоевания делает наука, тем с большим удивлением и уважением останавливаемся мы перед наследием предков. Окружающие нас условия жизни ими созданы без пособия наук, а между тем они поражают нас своею целесообразностью и научной обоснованностью.

Каким чудом человечество сумело использовать себе на пользу законы природы, которых не знало? Не имея понятия о химии, люди разыскали металлические руды, выплавили металлы, сумели очистить металл от вредных примесей и ввести полезные, сумели получить такие непревзойденные металлические изделия, как булат, железная кутубская колонна в Индии, или такие памятники, как бронзовая статуя Будды в Японии, золотой саркофаг фараона Тутанхамона, неподражаемые по своей высокой художественности и совершенству японская и китайская керамика и эмаль.

Современная наука раскрывает так называемые секреты производства наших предков, делает их достоянием массы, совершенствует их, идет по намеченному пути дальше, находит более простые способы достижения, но никогда не отвергает их, не говорит, что наши предки делали что-либо несообразное природе и поступали наперекор ее законам.

Таким образом, современная техника не отвергает техники предков, а только объясняет, дополняет и развивает ее. И это касается не только области органической и неорганической технологии, это касается решительно всей окружающей нас культурной жизни. Возьмем, например, бывшие так долго загадочными карликовые деревья японцев. Чего-чего не придумывали для их объяснения, а оказалось простое использование закона наследственности на пространстве веков.

Чем больше будем мы думать об этом предмете, тем яснее для нас сделается положение, что человечеству доступно угадывать верный путь в решении задачи использования не известных ему сил природы.

Обыкновенно говорят, что достижения наших предков есть дело случая и опыта. Это верно только отчасти. Слепой случай научает только лиц, подготовленных своей предыдущей работой к их восприятию, для лиц неподготовленных он проходит незамеченным и потому ничему научить не может.

В своей автобиографии Ч. Дарвин рассказывает, что он был способен думать о заинтересовавшем его предмете десятки лет. Нередко мельчайший случай, незаметный для других, давал ему разгадку мучившего его вопроса.

Итак, дело не в случае, а в восприятии этого случая. Случай является благодетельным только для лица, подготовленного продолжительным размышлением к его восприятию, а потому способного его заметить, сделать нужные выводы и его использовать.

Таким образом наши предки и работали; они размышляли, искали разгадку получения того или другого вещества, того или другого эффекта; не слепой случай помогал им найти искомое, а настойчивость, энергия в достижении и труд подводили к как бы сделанному открытию.

Я был почти свидетелем одного крупного открытия в Нижне-Салдинском заводе при установлении работы бессемерования, т. е. процесса получения стали из чугуна продувкой его струйками воздуха. В то время (1876 г.) существовало убеждение, что для повышения температуры чугуна при переходе его в сталь в чугуне должно содержаться непременно около 2% кремния. Ввести кремний в доменный чугун, сохранить его при переплавке было главной работой сталеделов. Поэтому расплавленный в печи Сименса чугун тотчас же выпускался в реторту. Задержать чугун в печи считалось преступлением — выгорит кремний, чугун сделается белым и плавка будет неудачная.

Так и работали в Нижней Салде; но управитель этого завода К. П. Поленов был настроен очень скептически к тогдашней металлургии, к ходячим эмпирическим правилам заводского дела, сущность которого для него не была ясна. Однако он продолжал работать по данному иностранцами рецепту, пока не случилось следующего обстоятельства. Однажды в момент, когда надо было выпускать чугун в реторту, испортился гидравлический аккумулятор и чугун пришлось задержать в печи лишних $1^1/_2$ часа. Когда авария была исправлена, чугун в печи оказался белым, но очень горячим; его выпустили из печи и ждали холодной операции. Против ожидания операция прошла прекрасно и дала прекрасную сталь.

Была сделана вторая, третья такая же операция из перегретого, но белого чугуна, и с тем же успехом. С тех пор К. П. Поленовым в Нижней Салде был установлен новый тип бессемерования из малокремнистых, но сильно перегретых чугунов. Между авторитетными русскими металлургами и К. П. Поленовым загорелась ожесточенная полемика по поводу этого нового способа бессемерования; его считали ошибочным, и только развитие физической химии окончательно установило, что Поленовым был сделан крупный шаг вперед в металлургии. Проф. Ржешотарский указал на теоретические выгоды этого способа и дал ему название русского бессемерования.

Случись поломка аккумулятора при другом управителе, и она прошла бы совершенно незамеченной, ибо прежде всего другой управитель не рискнул бы наперекор авторитетам попробовать бессемеровать белый, но сильно нагретый чугун, а из осторожности разлил бы его по изложням. Если бы даже он и решился его пробессемеровать, то приписал бы благополучный исход необыкновенной удаче, не повторил бы этот опыт, а вернулся бы к той работе, которую авторитеты считали нормальной. Таким образом, этот случай был бы забыт, а блестящая страница русской металлургии потеряна.

Открытие было сделано исключительно потому, что случай произошел на глазах человека, хотя научно не подготовленного, но много думавшего о бессемеровании, искавшего новых путей и скептически настроенного по отношению к эмпирическим правилам, общепринятым в этом производстве.

Несовершенство заводской работы часто побуждает нас искать новых путей, выходящих за пределы достижения чистых наук. Нащупанные методы работы в дальнейшем изучаются и часто только спустя много лет делаются достоянием науки. Многие же отрасли человеческой деятельности и до сей поры остаются в области искусства и эмпиризма. Наука очень часто бессильна для объяснения совершающихся перед нашими глазами явлений, и мы лишены возможности что-либо предвидеть и направить процесс так, как следовало бы для получения наилучшего эффекта. Таким образом, мы иногда вынуждены итти вперед без руководства наукой, ощупью. Несмотря на эти бесконечно трудные условия работы мысли, человеческая природа выходит победительницей из таких тяжелых условий и медленно, но непрерывно познает природу и использует полученные пока несовершенные знания на благо человечества.

Эти победы человеческого духа справедливо называть промышленным творчеством, которое является подготовительною ступенью к научному творчеству. По мере продвижения вперед чистых наук эра эмпиризма сменяется наукой, творчество промышленное сменяется творчеством научным, но по существу природа того и другого одинаковы. Люди, способные продвигаться в области промышленного творчества, легко продвигаются и в творчестве научном.

Техника дает очень интересные примеры того и другого творчества. Например, несмотря на все усилия многих людей, вопрос о калибровке прокатных валов[1] остается областью чистого эмпиризма. Нет научных оснований сделать проект прокатки нового профиля, и, однако, опытный калибровщик делает такой проект и выкатывает профиль сразу или после нескольких незначительных поправок и подточек прокатных валов.

Как он это делает? Исходя из заданного окончательного профиля, он приближается от калибра к калибру к прямоугольнику или квадрату, каждый раз ставя себе вопрос — выйдет ли конечный профиль, если он даст предыдущему какие-то очертания, приближающие его к форме слитка. Чем он при этом руководствуется? Чувством реальности, основанным на многолетнем опыте.

Послушайте разговор двух калибровщиков, обсуждающих проект нового трудного профиля. Вы услышите такие реплики: такой-то выступ или фланец не будет выдавлен, такой-то будет утянут, в таком-то будет избыток металла и получится заусенка и т. д. и т. д. В подтверждение будут приведены примеры уже работающих калибровок.

Когда проект сделан, валы положены в прокатный стан и получен, положим, неудачный профиль, идет обсуждение, где сделана ошибка, почему она сделана и как ее исправить. Трудно перечислить ту массу гипотез, которые при этом строятся; в конце концов выбирается одна из них и проверяется на деле; получаются новые неожиданности, и опять, и опять работает мысль над новыми гипотезами, пока вопрос не будет решен и профиль выкатан.

Люди, не работавшие так, не могут себе дать ясного представления о тех усилиях мысли, которые при этом имеют место. Удел промышленного творчества — море огорчения и бессонных ночей. Но, допустим, вопрос решен, профиль выкатан. Полученное достижение все же не есть

---

[1] Расплавленные металлы отливаются в слитки прямоугольного, квадратного или круглого сечения. Из таких слитков выкатываются профили сложного сечения, как, например, рельсы, пропуском через постепенно уменьшающиеся калибры, ручьи, построить которые нет научных обоснований, ибо это случай текучести твердого тела под давлением, природу которой мы мало знаем. Незнание законов природы компенсируется «опытностью» калибровщика, т. е. примерами истечения металла при подходящих условиях и эмпирическим правилом построения калибров.

научное открытие, широко открывающее двери следствиям и выводам. Для другого профиля всю работу приходится каждый раз исполнять сначала. Облегчение дает только опыт лица, делающего проекты.

Какой громадный шаг в достижениях получается при переходе от промышленного творчества к научному, мне удалось испытать на собственном опыте.

Когда я молодым инженером 21 года попал на заводы, я застал в Нижней Салде такую картину: все пламенные металлургические печи строились и держались в порядке стариком уставщиком каменных работ П. Ф. Шишариным. Ни управитель, ни другие служащие, ни я ничего в печах не понимали. Как он управлялся с печами, он объяснить не мог, а я, на глазах коего проектировались и строились новые печи, не мог понять, чем он руководствовался в своих работах. На мои расспросы он говорил: так делать нельзя, печь не пойдет; нужно делать так и так. Почему — этого он не знал, ибо ошибки у него следовали за ошибками; иногда, очень редко давал он твердые правила правильной конструкции и ухода за печами. Я начал учиться под его руководством печному делу, но не ранее 10 лет учения осмеливался вставить свое слово, сделать свое предложение. Только через 15 лет я сделал первый проект печи, который был П. Ф. Шишариным безжалостно стерт, ибо ошибочность его была для него очевидна. Вскоре после этого П. Ф. Шишарин умер.

Построенную печь я ломал и вновь строил полтора года, добиваясь все лучших и лучших результатов. За это время я додумался до начал гидравлической теории, которая базируется на аксиоме: движение пламени в воздухе должно рассматриваться, как движение легкой жидкости в тяжелой.

Вопрос о печах был перенесен в хорошо мне знакомую область гидравлики. Промышленное творчество сменилось научным и создание новых типов печей стало занимать у меня несколько дней, а иногда и часов работы. С тех пор я не ломаю своих печей, а молодежь обучаю науке строить печи в семестр. Вот пример одного из завоеваний науки и приобщения к ней целой области эмпиризма и промышленного творчества.

В чем же сущность творчества? Для решения какой-либо задачи одного человеческого умозрения мало. Логическое построение должно непременно опираться на опытную проверку, иначе нам грозит опасность уклониться от истины и впасть в ошибку метафизиков. Но чтобы правильно поставить опыт, надо сделать большую работу мысли. Надо себе выяснить, от каких переменных зависит наблюдаемое явление, и поставить опыт так, чтобы в опыте была только одна переменная, чтобы решалось уравнение с одним неизвестным. Это вам удастся, если вы усилием воображения и мысли предугадаете результаты опыта, т. е. создадите рабочую гипотезу, совпадающую с будущей теорией вопроса. Когда опыт поставлен правильно, то решение вопроса не представляет трудности.

Итак, сущность творчества в предугадывании результата правильно поставленного опыта, в создании усилием мысли рабочей гипотезы, близкой к действительности, в том, что́ Складовская назвала чувством природы; математики называют математическим чутьем; химики — химическим мышлением; государственные люди — чувством реальности, целесообразности; люди общественные — чувством такта, чувством меры, чувством настроения; поэты, писатели, художники, актеры — чувством художественной правды.

Все эти чувства, так разнообразно определяемые, обнимающие решительно всю деятельность природы и человечества, исходят из одного корня. Люди, хорошо мыслящие, улавливают закономерность природы и при решении вопросов, встречающихся на их пути, руководствуются ею в своих заключениях и действиях.

Как при решении задачи получения какой-либо краски, так и в изображении на сцене бытового явления, люди бессознательно руководствуются именно этим. Строя гипотезу, создавая художественный образ, человек или попадает в тон и такт природы или берет фальшивую ноту. В этой работе нет разницы между полководцем, поэтом, кабинетным ученым, промышленником и актером. В своих работах все они ставят опыты, все строят гипотезы и все, думая об этом, стараются угадать еще неизвестную им закономерность природы, которую видят и ощущают. Попавшие в тон — преуспевают, взявшие фальшивую ноту — проваливаются. Вот сущность творчества.

Для того, чтобы чувствовать гармонию природы, надо прежде всего любить природу, ею интересоваться. С другой стороны, надо обладать духом беспокойным, духом мятежным. Обладать тем червем, который делает вас искателем, в противоположность Обломовым и буддистам, ищущим покоя и нирваны.

Наше воспитание убивает в детях обе эти способности. Ребенок в возрасте от 5 лет начинает задавать вопросы: отчего, почему, как, зачем? Что мы ему отвечаем? «Вырастешь, узнаешь»... Так погребается его пытливость ума, его интерес к окружающему его миру. Учеба ребенка никогда не имеет предметом ответа на его вопросы — почему и отчего. Она основана на схоластическом запоминании вещей, ребенку совершенно чуждых, неинтересных и с его точки зрения ненужных. Редкая душа ребенка выйдет здоровой из такой тренировки. Средняя и высшая школы набивают мозги юноши всевозможными сведениями. Школа стремится дать как можно больше знаний. Насильственное кормление без отдыха, без возможности продумать и переварить то обилие сведений, которые обязательны для усвоения.

У юноши создается привычка глотать идеи, запоминать и повторять их, не продумывая до конца. Он думает и говорит привычными выученными формулами, не отдавая себе отчета в их сущности, и проходит, не замечая, мимо таких фактов, которые могли бы ему открыть новый мир. Та же ошибка переносится и в зрелый возраст. Так думают не только учителя, но и многие профессора.

Мне скажут, я утрирую факты. Позвольте привести доказательства. Сколько человек изучало элементарную физику? Сколько человек преподавало элементарную физику? Сколько профессоров читало на ее основах свои курсы?

Можно ли при таких обстоятельствах заподозрить, что в изложении основных законов физики будут сделаны промахи? Казалось бы, нет. Факты говорят обратное.

Закон Паскаля изложен в физике неточно, упущена роль окружающей нас атмосферы и силы тяжести, поэтому пропущено учение о гидростатическом давлении в газах. Закон изложен абстрактно, вне мирового пространства, а мы живем на земле. Эти неточности и недомолвки в изложении применения этого закона к окружающей нас обстановке задержали понимание законов движения пламени в теплых газах от М. В. Ломоносова до наших дней, т. е. на 160 лет.

Учение о передаче тепла конвекцией излагается в физике вне учета силы тяжести. Вопросом этим в настоящее время занимается физико-техническая лаборатория М. В. Кирпичева, изучающая этот вопрос с точки зрения гидравлической теории движения струек теплых газов в атмосфере холодного воздуха.

Чем глубже мы вникаем в этот вопрос, тем яснее делается для нас, что вопрос о конвекции придется пересмотреть в корне.

Та же идея рассмотрения движения теплых струек в холодной среде перевернула вверх дном теорию печей, сушил, вопросы вентиляции и коснулась вопросов метеорологии. Эти идеи уже проводятся в жизнь и уже служат человечеству.

В XX веке происходит революция в идеях XVII—XVIII веков. Подумайте только одну минуту, как могли эти недомолвки, неясности, непродуманности дожить до XX века, минуя сотни и тысячи мозгов, которые об этих вопросах говорили, писали и, казалось бы, думали.

Факт невероятный, но самая возможность его существования говорит, кричит о том, что наша школа поставлена неправильно. Она затемняет природные способности человека наблюдать и рассуждать и убивает в образованных людях способность уметь думать до конца, что является преддверием творчества.

Возможна ли другая постановка образования? Что такое мышление ребенка? Какой материал мы имеем в ребенке?

Позвольте мне рассказать следующее личное наблюдение. Был прелестный майский вечер, я садился в экипаж ехать в близлежащий рудник осмотреть новые работы. Со мной попросился ехать мой семилетний сын. Приехав на рудник, я отправился осматривать новые забои. Мальчик вскоре отстал и остановился у какой-то лужи. Я должен был вернуться по той же дороге и потому оставил его делать, что он желает. Возвращаясь через полчаса, я нашел ребенка у той же лужи. Он стоял и смотрел на воду. «Что ты тут смотришь?» «Смотри, папа, течет. Это ключ, вот пласт глины, по которой течет под землей вода». «Да, это ключ, откуда ты это знаешь?» «А помнишь, в прошлом году мы были на Поваренном ключе и ты сам нам рассказывал, что дождевая вода, встречая на своем пути слой глины, течет по глине под землей и выходит в овраг в виде ключа. Я никак не мог понять, как вода может течь под землей по глине. Я целый год об этом думал, а тут — смотри, глина, и течет вода. Ключ!» Мальчик был в восторженном настроении. Вот психика ребенка. Думать целый год, как вода течет под землей по глине; суметь это самостоятельно увидеть в природе и притти в такое состояние восторга, что стоять на одном месте полчаса, не замечая времени.

Прекрасный человеческий материал — скажете вы. Откуда же берутся слепые, мертвые люди, живущие в мире и его не видящие? Сделайте опыт. Возьмите десяток человек ваших знакомых и проэкзаменуйте их по элементарной космографии. Спросите их, как ходят по морю мореходы и находят нужное им место? Как чертятся карты? Что такое полдень? Что такое меридиан? и пр.

Можно поручиться, что этого экзамена не выдержит большая часть ваших знакомых.

Возьмите детскую литературу и литературу для родителей; поищите книгу, отвечающую на вопросы детей: отчего, как, зачем.

Таких книг почти нет, и бедные маменьки не знают, что отвечать детям. Тоскующие дети целый день торчат в кухне, единственном месте, где они могут наблюдать природу и удовлетворять свою любознательность.

Моя жена, отвечая на вопросы детей, начала преподавать начала астрономии своим детям до их поступления в школу. Сколько радости дало это детям. В саду ими была сделана обсерватория в виде бочки, прислоненной к забору, и дети каждый солнечный день сами наблюдали увеличение дня по передвижению пункта заката солнца. Весна идет. Сколько радости! Любимая тема разговора детей была о полярной ночи, о полуночном

солнце, тропическом дне и климате. С такой подготовкой поступили они в Коммерческое училище, где все эти задатки умерли под наплывом бесконечного количества непереваренных сведений казенной учебы.

Вот наша школа. Вот наши педагоги: слепые вожди, делающие детей слепыми. Их ученики не будут чувствовать природу. Они поглотят целые библиотеки, но будут смотреть на мир мертвыми глазами. В них не родится энтузиазм исследователя, его упорство мысли, энергия в достижении цели. Можно ли ждать от них творчества?

Искра наблюдательности, способности глубоко думать, горевшая в ребенке, погашена системой бестолкового запоминания «доказательства». Вот о чем над много и хорошо подумать.

Бывая часто на заседаниях и слушая многоречивых ораторов, я часто вспоминаю замечание одного приятеля-охотника о такомораторе: «а ведь это глухарь, птица глухарь: зажмурит глаза, заткнет уши и поет, поет — хоть руками бери». Заберет такой оратор идеишку в голову, закроет глаза на весь мир и поет... поет... Сколько бы талантов ни было ему отпущено природой, из такого продукта нашей школы никакого творца не выйдет, несмотря на его одаренность, способности, знания, эрудицию и пр. Это будет только глухарь.

Тут опять кстати вспомнить Ч. Дарвина, который писал: я встречал на своем жизненном пути много людей, одаренных природой гораздо лучше меня, но они ничего ценного не сделали. Почему?

Творцами были и будут только люди, способные так глубоко заинтересоваться явлениями природы или среды, нас окружающей, что явления, незаметные для обыкновенных людей, являются для них откровением. Так определял гений Лев Толстой, и, конечно, он был прав. Этим путем шло человечество в древности до создания стройного здания науки. Этим путем продвигаются вперед и наши современные гениальные ученые и изобретатели.

ПРИМЕЧАНИЕ РЕДАКТОРА

Нигде не опубликованная статья В. Е. Грум-Гржимайло, относящаяся к последним годам его жизни.

СПИСОК ПЕЧАТНЫХ ТРУДОВ В. Е. ГРУМ-ГРЖИМАЙЛО

№ п. п.	Год публикации	Наименование статьи	Кем издано или где напечатано
1	1889	Бессемерование на Н.-Салдинском заводе	Горн. журн., 1889, III, № 7—8, 77
2	1889	Заметка об относительных размерах глаза фурмы и сопла в доменных печах Н.-Салдинского завода	То же, 1889, IV, № 11—12, 211
3	1891	Паровые машины Н.-Салдинского завода, их недостатки и ремонт	То же, 1891, III, № 18, 193
4	1895	Бессемерование в Швеции	То же, 1895, I, № 3, 295
5	1895	Торфяной генератор Н.-Салдинского завода	То же, 1895, II, № 5, 165
6	1896	Исследование вентиляторов Рута	То же, 1896, IV, № 10, 1
7	1898	Мартеновская печь В.-Салдинского завода Н.-Тагильского округа	Сб. ст. по март. делу (1870—1895)
8	1900	Новое устройство прочного нерастущего свода для мартеновских печей	Горн. журн., 1900, III, № 9, 387
9	1901	*Газовый генератор для сучьев*	То же, 1901, III, № 9, 329
10	1901	Новые полугазовые печи кровельного производства для сучьев и пней	То же, 1901, III, № 9, 297
11	1903	Установка конденсатора Кертинга к реверсивной прокатной машине в 6000 сил в Н.-Салдинском заводе на Урале	То же, 1903, IV, № 11, 139
12	1905	Элементарная теория построения металлургических печей	То же, 1905, II, № 6, 287
13	1905	То же	Отд. брош. изд. О-ва Уральск. горн. техн.
14	1906	По поводу «Элементарной теории построения металлургических печей» (ответ М. А. Павлову)	Изв. С.-Пб. Политехн. инст., 1906
15	1908	К. П. Поленов (некролог)	Горн. журн. 1908, III
16	1908	Отзыв о Die Wärmetechnik des Siemens-Martin Ofen von Professor T. Mayer	Изв. О-ва горн. инж., 1908
17	1909	Иван Августович Тиме (к 50-летию его деятельности)	Записки Горн. инст., 1909
18	1909	Съемная шуровочная коробка для нагрузки дров, пней, сучьев и торфа в генераторы с тройным герметическим водяным затвором	Горн. журн. 1909, II. № 5, стр. 118
19	1910	Огнестойкость динаса	ЖРМО, 1910, 1
20	1910	Работа решетки регенераторов	То же, 1910, 1
21	1910	Новый тип печи Сименса в применении к обжигу динаса	» » 1910, 1
22	1910	Отзыв о книге Нобля «Производство стали»	» » 1910, 2
23	1910	Отзыв о статье И. Г. Есьмана «К вопросу о движении газов в металлургических печах»	» » 1910, 2

№ п. п.	Год публикации	Наименование статьи	Кем издано или где напечатано
24	1910	Отзыв о книге Cranger «Fabrication et emploi des materiaux et produits réfractaires»	ЖРМО, 1910, 2
25	1910	Отзыв о книге проф. Родзевича-Белевича «Успехи прокатного дела в 1909 г.»	То же, 1910, 2
26	1910	Отзыв о статье И. Бернацкого «К теории перекатных печей»	» » 1910, 2
27	1910	Отзыв о книге проф. М. А. Павлова «Доменные печи и воздухонагреватели». 1-е доп. к атласу	» » 1910, 2
28	1910	Отзыв о книге C. Dichmann «Der basische Herdofenprozess»	» » 1910, 2
29	1910	Отзыв о книге С. П. Вологдина «Исследование свойств огнеупорных материалов»	» » 1910, 2
30	1910	Отзыв о книге А. И. Онуфровича «Исследования кровельного железа, произведенные комиссией по исследованию уральских металлов»	» » 1910, 2
31	1910	Отзыв о книге инж. И. К. Русвурм «Круглые фабричные дымовые трубы»	» » 1910, 2
32	1910	Попытка алгебраического расчета состава генераторного газа по элементарному составу горючего	» » 1910, 3
33	1911	Отзыв о книге «Успехи прокатного дела в 1910 г.» проф. Родзевича-Белевича	» » 1911, 2
34	1911	Отзыв о книге P. Sochum «Der Drehrohrofen als modernster Brennapparat»	» » 1911, 2
35	1911	Отзыв о книге проф. В. Н. Липина «Металлургия чугуна, железа и стали»	» » 1911, 2
36	1911	Die Feuerfestigkeit der Dinassteine	St. &E. 1911, 6
37	1911	Гидравлический метод расчета пламенных печей	ЖРМО, 1911, 3
38	1912	Лаборатория прокатного дела в С.-Пб. полит. ин-те им. Петра Великого	» » 1912, 2
39	1912	К вопросу о взрывах при разливке стали	» » 1912, 4
40	1912	Основы правильной конструкции печей (реферат C. Dichmann'a, «St. & E.», 1913, № 21)	» » 1912, 5
41	1912	Основной принцип правильного устройства пылеуловителей	» » 1912, 6
42	1912	Отзыв о книге проф. Родзевича-Белевича «Успехи прокатного дела в 1911 г.»	» » 1912, 6
43	1913	Печь С.-Пб. арсенала с горизонтальным муфелем для отжига и закалки стали	» » 1913, 4
44	1913	Новая методическая печь для термической обработки бандажей	» » 1913, 6

№ п. п.	Год публикации	Наименование статьи	Кем издано или где напечатано
45	1913	Essai d'une théorie des fours à flammes basée sur les lois de l'hydraulique, 1-е изд.	Париж, 1913
46	1914	Отзыв о книге проф. П. Рубина «О горючих материалах, как источнике тепловой энергии для промышленных целей»	ЖРМО, 1914, 2
47	1914	Правила устройства безопасных газопроводов	То же, 1914, 4
48	1914	Новая модель съемной шуровочной коробки И. М. Смирнова для дровяных генераторов	» » 1914, 5
49	1914	Адам Ильич Онуфрович (некролог)	» » 1914, 5
50	1914	По поводу статьи П. Я. Сальдау «Опыты приготовления хромистого кирпича»	» » 1914, 5
51	1915	Маленькая печь для работы с очень высокой температурой	» » 1915, 1
52	1915	О форме ванны мартеновской печи	» » 1915, 1
53	1915	Печи для нагрева стали	» » 1915, 1
54	1916	Печи, применяемые при изготовлении снарядов	Ком. воен.-техн. пом. Пгр., 1916
55	1917	Печи пламенные	Техн. энцикл.
56	1917	Литое железо и литая сталь	То же
57	1917	Работа у металлургических печей (совместно с М. А. Павловым)	Охрана жизни и здоровья рабочих в промышленности, Пгр., 1917
58	1920	Уральская самобытность	Серп и молот, 1920, № 28—29
59	1920	Формы и пути организации уральской промышленности	То же 1920, № 27
60	1920	Теплушка	» » 1920, № 21—22
61	1920	Доменно-чугуннолитейные заводы	» » 1920, № 13
62	1920	Уральская железная промышленность в ее прошлом и будущем	Промышленный Урал, 1920
63	1920	Essai d'une théorie des fours à flammes basée sur les lois de l'hydraulique, 2-е изд.	Париж, 1920
64	1920	Печи комнатного отопления	Серп и молог, 1920, № 23—24
65	1920	Теория и конструкция сушил	Изв. Уральск. горн. инст., 1920, 7
66	1922	Что может дать Уралу объединение технической отчетности в трестах?	Урал, 1922, 1
67	1922	Белый уголь в районе платиновых приисков	» 1922, 3
68	1922	Шахтная печь для обжига каустического магнезита	» 1922, 1

№ п. п.	Год публикации	Наименование статьи	Кем издано или где напечатано
69	1922	Магнезит, как материал для вывоза за границу	Урал, 1922, 1
70	1922	Как приготовить нержавеющее железо	» 1922, 1
71	1922	Промышленные возможности Урала в связи с экспортом	Экономич. бюлл. Уралвнешторга, № 1
72	1923	Магнезитовая промышленность и ее экспортные возможности	То же № 2
73	1923	Цинковая промышленность на Урале	» » № 3
74	1923	Что делать с уральскими цинковыми рудами	» » № 4
75	1923	Уральская марганцевая промышленность и волковский уголь	» » № 4
76	1923	Производство изделий из закаленного чугуна на Урале	» » № 4
77	1923	Медная промышленность западного склона Урала	» » № 5—6
78	1923	Конференция по изучению производительных сил России	» » № 5—6
79	1923	Экспорт уральских грузов через Ледовитый океан	» » № 5—6
80	1923	Заметка об исследовании процесса сухой перегонки Violette'a 1857 г.	Технико-эконом. вестн., 1923, 1—3
81	1923	The flow of gases in Furnaces	New York, 1923
82	1923	Эскизы паровых котлов, построенных согласно гидравлической теории	Тепло и сила, 1923, 2
83	1924	Об искрогасителях для паровозов (Доклад на I Уральском съезде теплотехников)	Материалы I Уральского съезда теплотехников
84	1924	Металлургические печи на пыли (Доклад на I Уральском съезде теплотехников)	То же
85	1924	О сжигании егоршинского антрацита (Доклад на I Уральском съезде теплотехников)	» »
86	1924	Шахтные топки для дров, торфа и т. п. (Доклад на I Уральском съезде теплотехников)	» »
87	1924	О рациональной конструкции паровых котлов с гидравлической точки зрения (Доклад на I Уральском съезде теплотехников)	» »
88	1924	Доменная плавка на торфе	Урал, 1924, 1
89	1924	Ориентировочный подсчет вероятных и действительных запасов белого угля рек Уральского хребта	То же
90	1924	Торф, как горнозаводское топливо	» »

№ п. п.	Год публикации	Наименование статьи	Кем издано или где напечатано
91	1924	Формула W. Nusselt'a для скорости передачи тепла конвекцией с гидравлической точки зрения	Тепло и сила, 1924, 1
92	1924	Труды I Съезда деятелей по производству кровельного железа	Свердловск, 1924
93	1924	A propos de la «Théorie des fours à flammes» — une lettre de W. E. Groum-Grjimailo	Chal. &. Ind., 1924, 56
94	1924	Une chaudière à vapeur construite conformément à la théorie des fours à flammes basée sur les lois de l'hydraulique	Chal. &. Ind, 1924, 56
95	1925	Еще о Днепрострое	Экон. жизнь, 1925
96	1925	Constructions nouvelles des fours à flammes (Доклад на V Конгрессе прикладной химии в Париже)	Труды Конгресса, Париж.
97	1925	Сушило для получения из мирабилита сульфата	Журн. хим. пром., 1925,2
98	1925	Типы новых пламенных печей на пылевидном топливе	Труды БМТК, 1
99	1925	Производство стали	ГИЗ, М., 1925
100	1925	Пламенные печи	Изд. Теплотехн. инст., М., 1925
101	1925	Eigenschaften feuerfestes Ziegels von Standpunkt der Metallurgie	Feuerfestigkeit, 1925
102	1925	Как удешевить постройку пламенных печей?	Предприятие, 1925, 3
103	1925	Как следует сваривать мартеновское железо?	Предприятие, 1925, 6
104	1925	Проект ванной стеклоплавильной печи	Керамика и стекло, 1925, 5
105	1925	Ванная стеклоплавильная печь на пылевидном топливе для стекла невысоких качеств	То же, 1925, 5
106	1925	По поводу статьи H. Southern'a	ЖРМО, 1925, 1
107	1925	Проект парового котла, построенного согласно законам гидравлической теории движения пламени в печах (совместно с А. В. Грум-Гржимайло)	То же, 1925, 1
108	1925	Еще о паровом котле проф. В. Е. Грум-Гржимайло (письмо в редакцию)	» » 1925, 1
109	1925	О восстановлении южной металлургической промышленности (заметка по поводу записки инж. Гулыги)	Вестн. металлопром., 1925, 5—6
110	1925	По поводу статьи проф. Н. Н. Доброхотова «Механика печных газов» (письмо в ред. Вестн. металлопром.)	То же, 1925, 3—4

№ п. п.	Год публикации	Наименование статьи	Кем издано или где напечатано
111	1925	Очередные технические задачи, выдвигаемые проектированием новых медеплавильных заводов (Доклад на I Съезде по цветной металлургии)	Труды Съезда
112	1925	Северно-Сибирская магистраль и Урало-Сибирское хозяйственное объединение	Жизнь Сибири, 1925, 5
113	1926	Каковы должны быть молодые инженеры?	Поверхн. и недра, 1926, 7—9
114	1926	Ответ на ст. М. М. Карнаухова «Значение установки паровых котлов для использования тепла дыма мартеновских печей» (письмо в редакцию)	ЖРМО, 1926, 2
115	1926	Дополнение статьи Н. А. Соболевского «Егоршинский антрацит и способ его сжигания» (письмо в редакцию)	То же, 1926, 2
116	1926	The hydraulic theory of the flow of gas in furnaces	Лондон, 1926
117	1926	Организация исследовательских институтов	Поверхн. и недра, 1926, 3
118	1926	Ofen zum Brennen von Silika- und Schamottensteinen	Feuerfestigkeit, 1926
119	1926	Металлургическая практика студентов и ответ инж. Буталову	Предприятие, 1926, 7
120	1926	К вопросу о производстве динаса в СССР	Поверхн. и недра, 1926, 1
121	1926	Следует ли ставить к мартеновским печам паровые котлы?	ЖРМО, 1926
122	1926	Качество рельсов	Уголь и жел., 1926, 6
123	1926	Качество рельсов	То же, 1926, 13
124	1926	Качество рельсов	» » 1926, 14
125	1926	Отзыв о «Трудах I Уральского съезда деятелей по доменному производству»	ЖРМО, 1926, 2
126	1926	Каковы должны быть молодые инженеры?	Металлург, 1926, 4
127	1927	Отзыв о книге инж. П. Черкасова «Размеры и производительность уральских мартеновских печей»	ЖРМО, 1927, 1
128	1927	Die hydraulische Theorie des Gasstromes in Ofen	Feuerfestigkeit, 1927
129	1927	Качество рельсов	Уголь и железо, 1927, 20
130	1927	Письмо в редакцию журн. «Уголь и железо» (о раскислении стали)	То же, 1927, 97
131	1928	Производственные съезды Урала	Поверхн. и недра, 1928, № 2 (30)
132	1928	Организационные вопросы проектирования новых заводов	Эконом. жизнь, 1928, № 2723
133	1928	Принципы работы гидравлических, правильно построенных сушил	Труды БМТК, 1928, 2
134	1928	О динасе	ЖРМО, 1928, 3

№ п. п.	Год публикации	Наименование статьи	Кем издано или где напечатано
135	1928	Über Umwandlungserscheinungen der Silikaziegel in Martinhofengewölben	Feuerfestigkeit, 1928
136	1928	О томасировании в Керченском заводе	ЖРМО, 1928
137	1928	Operating principles of well designed drying kiln. — Доклад на Всемирном конгрессе энергетиков в Лондоне	Труды Конгресса
138	1928	Запорожье или Криворожье?	Днепрострой, 1928, 5
139	1928	Furnaces with uniform temperature due to the circulation of hot gases within the working chambers. — Доклад на Всемирном конгрессе энергетиков в Лондоне	Труды Конгресса

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
Предисловие	3
Автобиография	5
Бессемерование на Нижне-Салдинском заводе	11
Элементарная теория построения металлургических печей	38
Огнестойкость динаса	65
Об уширении при прокатке	76
Основы теории производства стали	92
Теория и конструкция сушил	140
Заметка об исследовании процесса сухой перегонки Виолетта (1857 г.)	160
Уральская древесноугольная железная промышленность в связи с промышленностью лесохимической	164
Пятидесятилетие первой мартеновской плавки на Урале в Воткинском заводе	170
Уральская железная промышленность в ее прошлом и будущем	177
Металлургическая практика студентов	214
Каковы должны быть молодые инженеры	220
Организация исследовательских институтов	228
Больное и здоровое творчество	230
Творчество промышленное, художественное и научное	233
Список печатных трудов В. Е. Грум-Гржимайло	240

Печатается по постановлению
Редакционно-издательского совета
Академии Наук СССР

*

Редактор издательства *М. П. Евдокимова*
Технический редактор *И. И. Карпов*
Корректор *В. Г. Богословский*

*

РИСО АН СССР № 3594. А 09157. Издат. № 2025.
Тип. зак. 2273. Подп. к печ. 3/IX 1949 г.
Формат бум. 70×108¹/₁₆. Печ. л. 15¹/₂+4 вкл.
Уч.-издат. 20,25. Тираж 3000.

Цена в переплете 19 руб.

2-я тип. Издательства Академии Наук СССР
Москва, Шубинский пер., д. 10

ОПЕЧАТКИ

Стр.	*Строка*	*Напечатано*	*Должно быть*
7	7 сн.	свою	свое
20	8—9 сн.	0.07—0.15% углерода. Наичаще	0.07—0.15%. Наичаще
35	9 сн.	оно	одно
40	18 сн.	колошников	колосников
42	24 сн.	окошек. Поэтому	окошек, поэтому
46	1 сн.	переводного	перекидного
47	5 сн.	$+0.49\,H$	$+0.47\,H$
56	21 сн.	писанный	описанный
83	16 св.	100 мм	1000 мм
89	12 св.	$=0.043d$	$)=0.043d$
189	6 сн.	1918	1917
213	11 сн.	и строках	и в строках
215	16 сн.	монтера,	монтера
217	7 св.	663	63