

А.П. ЧЕКМАРЕВ, Ю.С. ЧЕРНОБРИВЕНКО

**РОЛИКОВАЯ
АРМАТУРА
ПРОКАТНЫХ
СТАНОВ**

А. П. ЧЕКМАРЕВ, Ю. С. ЧЕРНОБРИВЕНКО

РОЛИКОВАЯ АРМАТУРА ПРОКАТНЫХ СТАНОВ

ИЗДАТЕЛЬСТВО
МЕТАЛЛУРГИЯ
Москва 1964

АННОТАЦИЯ

В книге рассматривается современная проводковая арматура прокатных станов, разработанная и внедренная в последние годы на металлургических заводах СССР и за рубежом.

Приведены описания конструкций и технико-экономические показатели работы вводных проводок, выводных и кантующих устройств, описано арматурное хозяйство современного сортопрокатного цеха.

Изложена теория и приведены экспериментальные данные по кантованию горячего раската скручиванием; предложены формулы для определения моментов сопротивления кручению раскатов разных поперечных сечений.

Даны рекомендации по выбору типа и конструкции современной проводковой арматуры для сортовых и проволочных станов; приведены данные для расчета основных ее узлов и деталей.

Книга предназначена для инженерно-технических работников прокатных цехов и конструкторов прокатного оборудования, а также может быть полезна студентам, изучающим прокатное производство.

Авторы

*ЧЕКМАРЕВ Александр Петрович,
ЧЕРНОБРИВЕНКО Юрий Сергеевич*

Редактор издательства *С. И. Комаров* Технический редактор *А. И. Карасев*
Переплет художника *П. П. Перевалова*

Сдано в производство 22/X 1963 г. Подписано в печать 14/II 1964 г.
Бумага 60 × 90¹/₁₆ — 8,0 бум. л. = 16,0 печ. л. Уч.-изд. л. 16,28
Т-01361 Тираж 1960 Заказ 1864 Изд. № 3365 Цена 96 коп.
Тем. план 1964 г. № 120

Издательство «Металлургия», Москва Г—34, 2-й Обыденский, 11.
Московская типография № 12
Главполиграфпрома Государственного комитета
Совета Министров СССР по печати
Цветной бульвар, 30

ОГЛАВЛЕНИЕ

	Стр.
Введение	5
Глава I. Вводная арматура	9
1. Назначение вводной арматуры	9
2. Роликовые вводные линейки	10
3. Вводные коробки с роликовыми пропусками	19
4. Пружинящие роликовые вводные проводки	33
5. Двухроликовые проводки непрерывных станов	49
6. Вводные проводки для фасонных профилей	56
Глава II. Выводная арматура	60
7. Роликовые выводные проводки сортовых и проволочных станов	60
Глава III. Кантующая арматура	67
8. Роликовые кантующие проводки	67
9. Роликовые кантователи	76
10. Кантующие валки и ролики непрерывных станов	84
Глава IV. Проводковая арматура современного прокатного цеха	89
11. Технологический процесс и краткая характеристика основного оборудования цеха	89
12. Арматура мелкосортных станов Криворожского металлургического завода	101
13. Арматура проволочных станов Криворожского металлургического завода	117
14. Организация арматурного хозяйства сортопрокатного цеха	133
Глава V. Теория кантования горячего раската скручиванием	138
15. Постановка задачи	138
16. Общее решение задачи о кручении пластических стержней при линейном законе упрочнения	140
17. Приближенное решение задачи о кручении стержней из пластического материала, обладающего линейным законом упрочнения	148
18. Формулы для определения моментов сопротивления кручению идеально пластичных стержней с овальными поперечными сечениями	154
19. Степень деформации при пластическом кручении стержней из упрочняющегося материала	158
20. Определение величин, необходимых для практических расчетов по формулам	162
21. Примеры применения полученных решений в практических расчетах	166

Глава VI. Экспериментальное исследование действия роликовой проводковой арматуры	173
22. Экспериментальная установка.	173
23. Результаты экспериментов	188
Глава VII. Основы конструирования роликовой проводковой арматуры	197
24. Выбор типа конструкции	197
25. Основные исходные данные для прочностного расчета деталей арматуры.	198
26. Профилировка роликов.	218
27. Подшипники роликовой проводковой арматуры, их смазка и охлаждение.	228
28. Материал роликов.	237
29. Примерный поверочный расчет роликовой проводки	246
Литература.	253

ВВЕДЕНИЕ

Программой, утвержденной XXII съездом КПСС, намечено к 1980 г. увеличить объем промышленной продукции в нашей стране не менее, чем в шесть раз. К этому времени черная металлургия достигнет уровня, при котором производство стали должно будет полностью покрывать потребности народного хозяйства в металле в соответствии с достигнутым уровнем технического прогресса.

Значительный рост выплавки стали вызовет огромное расширение прокатного производства, возможное лишь при условии внедрения комплексной механизации и автоматизации. Предстоит полностью механизировать и автоматизировать прокатные станы. Решение этой задачи невозможно без оснащения станов наиболее современной проводковой арматурой, среди которой все более широкое распространение получает роликовая арматура, описываемая в настоящей книге.

Процесс прокатки практически неосуществим без проводковой арматуры, обеспечивающей ввод раската, необходимое положение его в валках и правильный отвод от них.

Практика показала, что арматура трения скольжения во многих случаях не удовлетворяет возросшим требованиям к ее износостойкости и не обеспечивает хорошего качества поверхности проката. Роликовая арматура в значительной мере лишена указанных недостатков. Применение роликовой вводной арматуры также существенно облегчает задачу раската в валки. Межзаводские школы по проводковой арматуре и обводным аппаратам прокатных станов и изучению передового опыта работы сортировочных станков [50—52], а также Всесоюзное совещание прокатчиков [54] считают роликовую арматуру наиболее прогрессивным видом современной проводковой арматуры.

Представление об эффективности применения роликовой арматуры дает табл. 1 [94].

Создание надежной, удовлетворяющей всем требованиям проводковой арматуры является одной из основных проблем прокатного производства, что подчеркивалось и ранее в литературных трудах [1—4]. Попытки применения роликовой арматуры известны с 20-х годов текущего столетия. Однако из-за ряда технических затруднений (отсутствие малогабаритных высокостой-

Технико-экономический эффект применения роликовой арматуры

Завод	Стан	Диаметр проката-васюго профиля (кругов), мм	До внедрения роликовой арматуры, %		При использовании роликовой арматуры, %		Количество перестроек арматуры (замена деталей)		Повышение производительности, %
			брак	вторые сорта	брак	вторые сорта	арматура скользящая	роликовая арматура	
Челябинский металлургический	300—1	28—70	1,5—2,0	6,0	0,05—0,09	До 1,5	В смену 2—3	Без замены 7÷10 смен	—
	350—2	12—30	0,88	6,4	0,53	3,9	На кругах 2—3 на периодическом профиле до 10 в смену	То же 3—5 смен	20% на периодическом профиле № 14
Магевский металлургический	250	12	10,05	11,5	2,55	2,75	В смену 4—5	То же 1—2 смены	—
	350 400	25—32 35—65	23,04 0,87	4,27 0,97	0,82 0,45	1,71 0,47	В смену 2—3	То же 2—3 смены	До 30
«Серп и молот» [96, 34]	300	12—28	—	0,71	По риске 0,08	0,38	В смену 1—2	Без ремонта 1—1,5 месяца	среднем 9,5÷10
	450	30—65	—	1,6	По риске 0,001	0,47	В смену 1—2	То же 1—2 смены	—
Златоустовский металлургический [55]	450	—	—	—	Полностью устранены закаты и скручивание	—	В смену 3—4, иногда через 30 мин	То же 4—5 недель	4÷6
	450—2	—	0,6	0,25	Выход 1-го сорта 99,75	—	В смену 2	То же до 25 смен	—

ких шариковых и роликовых подшипников, твердых сплавов и др.) они в то время не дали положительных результатов.

Совсем иначе обстоит дело сейчас, когда указанные затруднения в основном преодолены. Прошедшее десятилетие может быть охарактеризовано как период исканий и нередко удачных решений по созданию и практическому применению роликовой арматуры.

Серьезным препятствием к широкому внедрению роликовой арматуры является отсутствие методов ее конструирования и расчета, а также обобщения опыта заводов по ее эксплуатации.

Отечественная и зарубежная литература, посвященная роликовой проводковой арматуре, исчерпывается несколькими десятками журнальных статей и сообщений с кратким описанием конструкций и некоторой их технико-экономической характеристикой. В последнее время появились работы [13—16, 38, 94], затрагивающие вопросы проектирования роликовой арматуры. В работе [36] дан реферативный обзор иностранных статей [1, 17, 18, 20, 27, 28, 35].

По своему назначению проводковая арматура прокатных станов разделяется на вводную, выводную и кантующую. Функции кантующих устройств часто передаются выводным проводкам. Иногда кантующие устройства и выводные проводки объединяются в одном конструктивном комплексе. Каждая из указанных трех групп может быть разделена на подгруппы. Ниже приводится классификация роликовой арматуры.

Современная проводковая арматура должна удовлетворять следующим требованиям:

1. Обеспечивать высокое качество проката и устойчивую работу прокатного стана, сохранять первоначальную настройку в течение достаточно долгого времени, быстро и просто регулировать зазор между роликами.

2. Быть универсальной, т. е. обеспечивать прокатку ряда смежных профилей или профилиразмеров.

3. Предусматривать быструю замену и многократный ремонт сменных деталей, а также не иметь узлов и деталей, изготовление которых затруднительно в условиях металлургического завода.

4. Конструкция и габариты арматуры должны позволять полное использование бочки валков и, в случае необходимости, прокатку в несколько ниток, а также изменять положение проводки относительно калибра и роликов относительно друг друга.

При удовлетворении этих требований роликовая арматура является весьма экономичной и удельные (на тонну проката) расходы на нее оказываются незначительными.

С точки зрения этих требований, в настоящей работе дана оценка известных конструкций современной проводковой роликовой арматуры сортопрокатных и проволочных станов. Рассмотрены теоретические основы силового взаимодействия про-

Классификация роликовой арматуры прокатных станов



водковой арматуры и раската, приведены данные экспериментальной проверки, а также материалы по конструированию арматуры.

Глава I

ВВОДНАЯ АРМАТУРА

1. Назначение вводной арматуры

Вводная арматура предназначена для осуществления следующих операций:

- 1) подвода раската в строго фиксированном положении к определенному месту валков — калибру;
- 2) удержания раската в требуемом положении в зеве валков в период прокатки;
- 3) предупреждения бокового перемещения раската в калибре во время прокатки из-за болтаний и ударов конца полосы. Вводная арматура не всегда выполняет все три названные функции. В некоторых случаях в зависимости от поведения раската во время прокатки ее назначение сводится к двум или даже одной из них.

Наиболее существенно на поведение раската при прокатке, а следовательно, и на назначение вводной арматуры влияет калибровка валков

Устойчивые, самоцентрирующиеся сечения раскатов¹ систем типа ромб — квадрат, овал — ребровой овал, шестигранник — квадрат и подобные им не требуют особо точного ввода раската в калибр и жесткого удерживания его в процессе прокатки. Окончательное центрирование и удерживание полосы от сваливания выполняет в этом случае сам калибр, и роль арматуры сводится лишь к подведению раската к калибру.

Прокатку по схеме типа квадрат — овал и круг — овал также можно считать в этом отношении устойчивой. Самокантовующиеся квадратные и круглые сечения самоцентрируются в оваль-

¹ Здесь и в дальнейшем под «устойчивостью» раската понимается его способность сохранять правильное положение в калибре без какого-либо дополнительного внешнего воздействия. Многие из таких «устойчивых» сечений обладают к тому же свойством занимать нужное положение самостоятельно в процессе прокатки даже при неправильной задаче их в валки, т. е. могут «самокантоваться».

«Самоцентрирующиеся» полосы («самоцентрирующие» калибры) названы так в связи с тем, что они в ходе прокатки имеют стремление устанавливаться (устанавливать раскат) соосно с калибром.

ных калибрах достаточно хорошо. Способность полосы к самоцентрированию в этом случае зависит от величины радиуса овала. Чем больше радиус, тем слабее выражена эта тенденция. Величина обжатия в овальном калибре также влияет на поведение полосы в процессе ее захвата. При малом обжатии и большом радиусе овала (плоский овал) больше шансов захвата полосы в нецентральной позиции. Вводные пропуски для таких сечений должны совершенно точно подвести раскат к калибру, но, как только он начнет правильно и устойчиво обжиматься, положение его будет контролироваться самим калибром. Кроме того, в зависимости от способности овального калибра к самоцентрированию вводная арматура должна предупреждать возможность бокового смещения раската при болтании и захлестывании его заднего конца.

Овальное сечение при задаче его в круглый калибр обладает значительной тенденцией к сваливанию, так как овал, поставленный на ребро, сам по себе не является устойчивым, а конструкция круглого калибра не способна противостоять сваливанию его на 90°. Поэтому вводная арматура при такой схеме калибровки должна выполнять все три названные функции.

На устойчивость раската при прокатке, помимо калибровки, влияет качество выполнения профиля и некоторые другие факторы. Так, некоторые авторы считают [17], что квадратное сечение, задаваемое в овальный калибр, не должно рассматриваться как устойчивое в связи с тем, что на практике чаще работают с не полностью выполненными квадратами. Действительно, сечение, полученное при значительном незаполнении квадратного калибра, не имеет правильно оформленных углов и часто сворачивается в овальном калибре на диагональ. Углы при вершинах квадратных калибров, выполняемые тупыми, также искажают форму профиля и способствуют сваливанию квадрата в овале.

Таким образом, вводная арматура в зависимости от конкретных условий прокатки должна выполнять различные функции, что необходимо иметь в виду при рассмотрении и оценке ее конструкций.

2. Роликовые вводные линейки

Простейшим видом вводной арматуры являются направляющие линейки. Эти вводные устройства предназначены лишь для подведения раскатов устойчивой формы к калибру, который сам автоматически центрирует раскат и удерживает его во время прокатки. Естественно, что и конструктивное оформление вводных пробок, выполняющих такую простую задачу, должно быть самое простое.

Рис. 1 изображает такие роликовые линейки, применяемые в американской практике [18].

Роликовые вводные и выводные линейки с успехом применяются [94] на черновых клетях сортовых станов 300 Магнитогорского металлургического комбината (рис. 2). Благодаря своей массивности и жесткости вводные линейки не только вполне надежно удерживают раскат во время прокатки, но могут

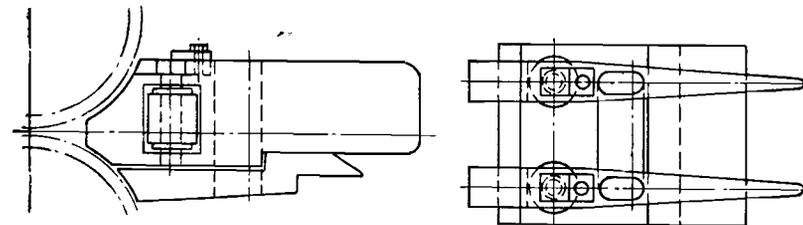


Рис. 1. Роликовые вводные линейки

слегка обжимать разлохмаченные передние концы, уменьшая число неполадок при захвате. Такие линейки просты в изготовлении, легко настраиваются и обладают высокой стойкостью.

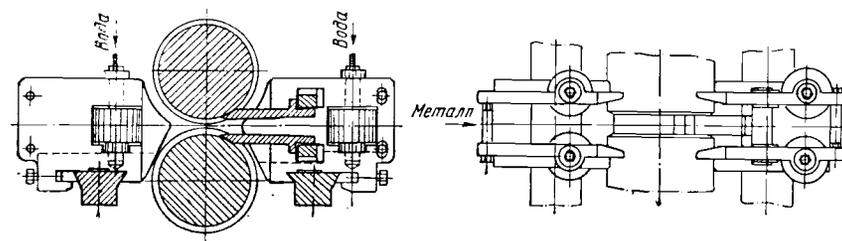


Рис. 2. Роликовая арматура черновых клетей стана 300

В настоящее время роликовые линейки рассмотренного простейшего типа еще не получили достаточно широкого распространения. Это можно объяснить отчасти тем, что в силу рациональной формы, устойчивых сечений и самоцентрирующих калибров влияние вводной проводковой арматуры на процесс прокатки сведено к минимуму, и она не оказывает заметного воздействия на эффективность работы станом. С другой стороны, часто в качестве вводных пробок для таких сечений неоправданно используют более сложные конструкции, разработанные для прокатки неустойчивых сечений.

На рис. 3 изображен общий вид одной из разновидностей вводных роликовых линеек, получивших наиболее широкое распространение на заводах Союза при прокатке неустойчивых овальных сечений, но применяемых и для задачи квадратных, шестигранных, полосовых и других устойчивых профилей. Первые сведения о применении таких пробок на чистовых линиях мелкосортных станом 280 и 325 завода «Днепропеталь» по-

явились в литературе в 1956 г. [19]. Впоследствии материалы этой работы были заимствованы другими авторами [13, 94], а в последнее время вышла в свет статья работников завода [101], в которой приведены данные по эксплуатации этих проводок.

Роликовая проводка стана 280 (рис. 3) состоит из двух линеек с вмонтированными в них двумя парами роликов, профи-

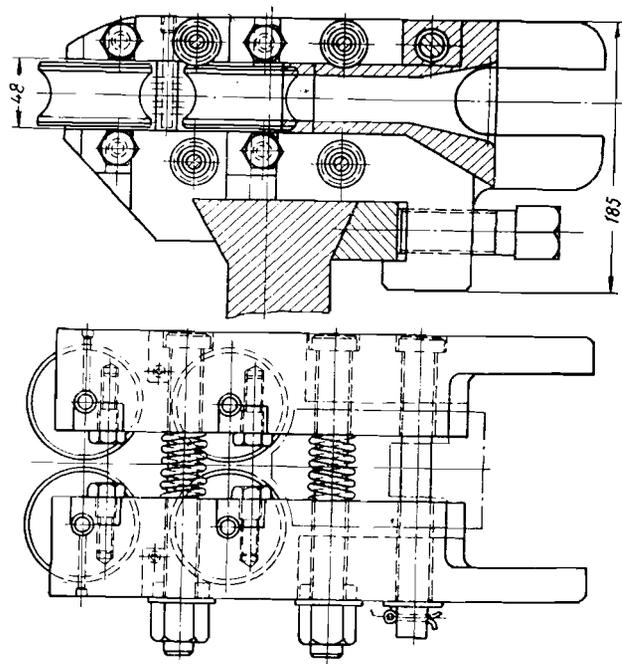


Рис. 3. Роликовая вводная проводка завода «Днепро-спецсталь»

лированных по форме овала. Между линейками помещены пружины, стянутые болтами, с помощью которых настраивают проводку. Настройка производится по темплетам овальных раскатов для каждого размера круглого профиля. Окончательная регулировка осуществляется во время прокатки. Переданная на стан собранная и проверенная проводка устанавливается на подвесном регулируемом проводковом бруске. Эта хорошо известная конструкция проводкового бруска, весьма положительная себя зарекомендовавшая при однониточной прокатке на многих заводах, позволяет легко осуществлять перемещение проводки в вертикальном и горизонтальном направлениях, а также наклон ее в любую сторону без изменения настройки удерживающих роликов. Конструкция такого бруска иллюстрируется на рис. 4 (по чертежам завода «Днепро-спецсталь»).

Ролики проводки, изготавливаемые из термически обработанной стали 12ХФА, охлаждаются водой. Оси роликов также выполняются из легированной стали.

Роликовые линейки служат десятки и сотни часов непрерывной работы и выдерживают прокатку целой партии данного размера или данной группы размеров; в дальнейшем, после профилактического осмотра, они могут быть снова использованы без ремонта.

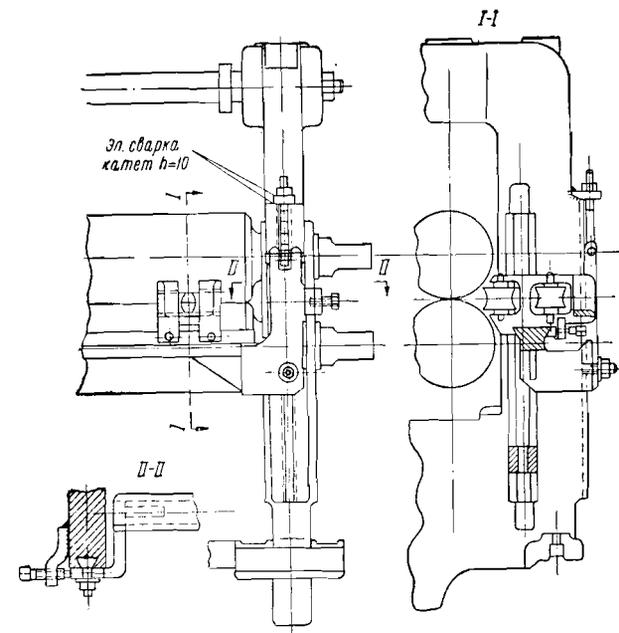


Рис. 4. Подвесной регулируемый проводковый брусок

Проводки подобной конструкции применяются на мелкосортных и среднесортных станах для задачи овалов, квадратов, ромбов, полос и подобных им простых сечений как при ручном обслуживании, так и при прокатке с обводками. Реже их можно встретить на крупносортных и трубозаготовочных станах при прокатке кругов. Основными достоинствами проводок этой группы, определившими столь широкое их применение, являются надежность в работе и простота изготовления и обслуживания.

Приоритет в использовании таких проводок не установлен, однако общность конструктивного оформления заставляет предполагать, что внедрение их на различных заводах шло в порядке обмена передовым опытом, а небольшие изменения в конструкции вызывались местными особенностями работы.

На заводе «Серп и молот» роликовые линейки применяются

на чистовой и черновых клетях стана 450 (с 1953 г.) и стана 300 (с 1954 г.). Оба стана обслуживаются вручную.

Некоторое представление о технико-экономическом эффекте внедрения роликовых проводок на этих станах можно получить на основании данных технического отдела завода, приведенных в табл. 1.

Аналогичные проводки применяют на заводе «Электросталь» на линейных сортовых станах ручного обслуживания 300/450 и 600. На стане 300/450 роликовые вводные проводки применяются при прокатке кругов всех размеров (диаметр 8—40 мм), а также при прокатке полос для задачи их в ребровой калибр. Размеры полос: толщина от 2 до 20 мм, ширина от 12 до 40 мм.

С 1956 г. проводки этой конструкции стали употреблять для задачи черновых овалов на четвертой, третьей и второй клетях стана. В этом случае (рис. 5) в линейки 1 и 4 монтируются только два передних удерживающих ролика 5. Вместо задних роликов в проемы линеек устанавливаются специальные вкладыши 6 из серого чугуна, которые служат для точного направления овала в зев роликов и предохранения раската от ударов и царапания о линейки.

Для задачи полос в ребровые калибры при прокате на стане 300/450 применяется вводная роликовая проводка, разрез которой вдоль оси прокатки изображен на рис. 6. Она отличается от проводки для мелких овалов наличием нижней опоры качения 9, в качестве которой использован шарикоподшипник (№ 303), насаженный на палец 8. Кроме того, в верхней части проводки поставлен ограничитель 6, представляющий собой цилиндрический ролик из стали марки ЭУ7, свободно насаженный на гладкую ось 7. Верхний ограничитель установлен с целью предохранения полосы от выскальзывания вверх из гладких удерживающих роликов. Ширина шарикоподшипника нижней опоры и ролика верхнего ограничителя должна быть несколько меньше минимального расстояния между линейками проводки для обеспечения возможности регулировки линеек. В качестве подшипников, удерживающих ролики в проводках, для полос приняты конические роликоподшипники (№ 7604), которые, как и шарикоподшипники проводок для кругов (№ 303), обеспечивают надежную работу без централизованной смазки. Подшипники смазываются солидолом только при сборке и ревизии проводок.

Наилучшие результаты по стойкости роликов вводных проводок стана 300/450 получены при их изготовлении из стали марки Х12Ф1 со следующим режимом термообработки:

- 1) закалка от температуры 1100—1150° С в масле;
- 2) отпуск при температуре 450—500° С.

При этом обеспечивается твердость порядка 62—65 RC (примерно 655 НВ).

Выработка роликов носит равномерный характер. На хвостовой паре роликов (при прокатке кругов) имеет место выработка

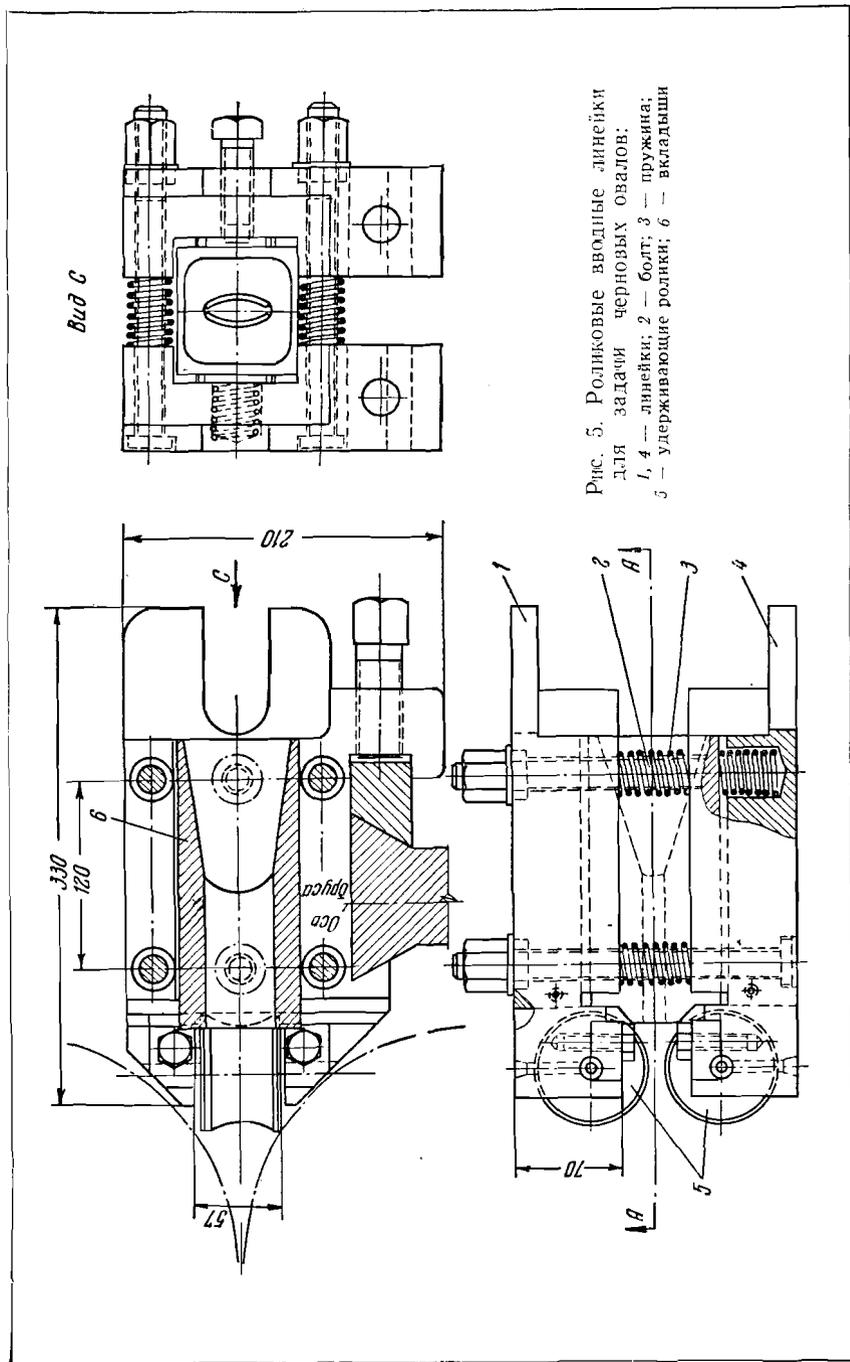


Рис. 5. Роликовые вводные линейки для задачи черновых овалов:
1, 4 — линейки; 2 — болт; 3 — пружина;
5 — удерживающие ролики; 6 — вкладыши

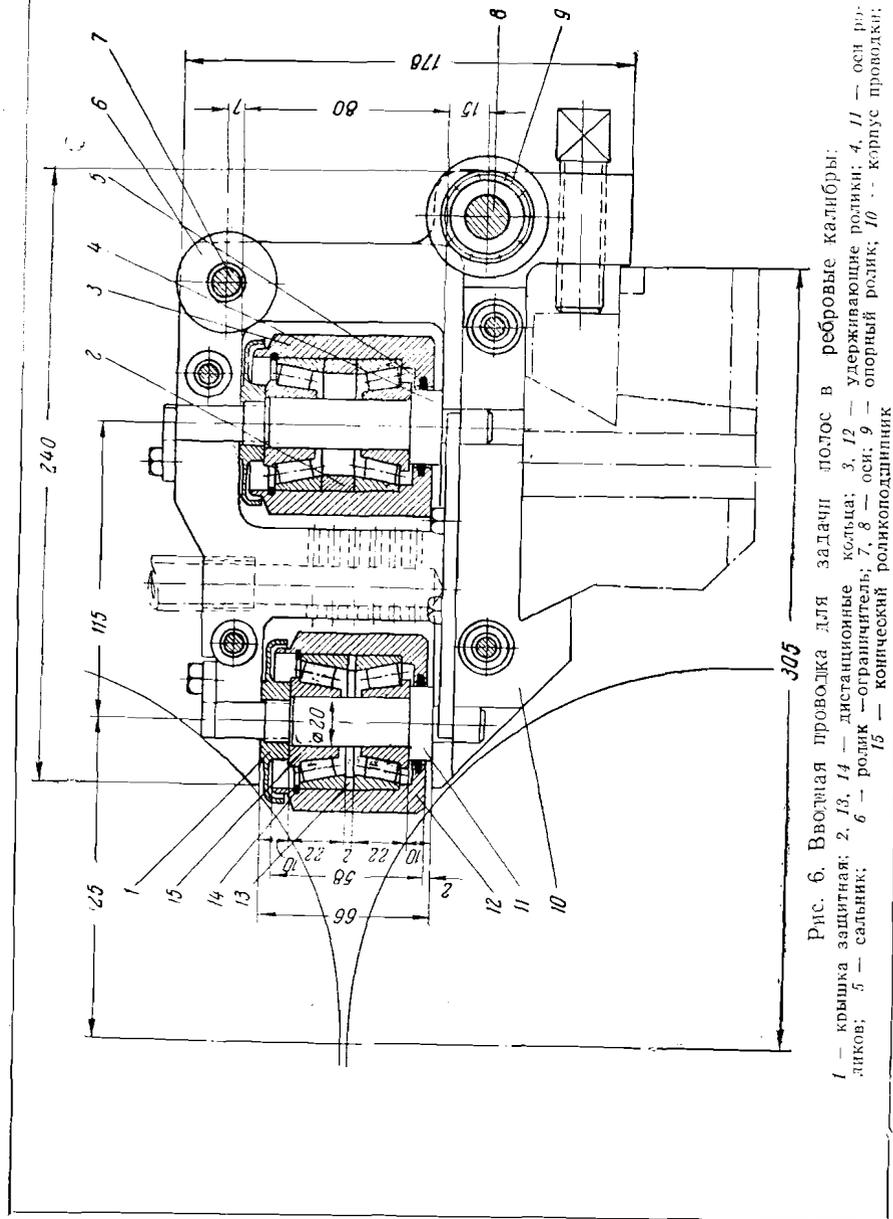


Рис. 6. Вводная проводка для задачи полос в реборные калибры:
 1 — крышка защитная; 2, 13, 14 — дистанционные кольца; 3, 12 — удерживающие ролики; 4, 11 — ось роликов; 5 — сальник; 6 — ролик — ограничитель; 7, 8 — ось; 9 — опорный ролик; 10 — корпус проводки; 15 — конический роликоподшипник

по краям ручьев. Ролики из вышеуказанного материала при прокатке кругов диаметром 8—23 мм стоят до 10 смен. Каждый комплект роликов после этого перетачивается на такой же или следующий (в сторону увеличения) размер удерживаемого раската. Всего производится четыре переточки.

Конструкция роликовой проводки стана 600 идентична вводным роликовым устройствам стана 300/450. Некоторые отличия в креплении удерживающих роликов, подводе охлаждающей воды, креплении самой проводки на проводковом бруске и т. п. не являются принципиальными и вызваны различиями в прокатываемом сортаменте (круги диаметром 70—100 мм) и особенностями работы на стане.

Ролики проводок стана 600 изготавливают из стали марки ЭШХ15 с последующей закалкой от температуры $840 \pm 20^\circ \text{C}$ в масле и отпуском при температуре 170°C .

Получаемая при этом твердость составляет 62—64 RC (при мерно 650 HB).

Ролики из этого материала выдерживают между переточками прокатку 8000 т металла. До полного износа ролики перетачиваются дважды.

Сравнивая конструкции роликовых проводок заводов «Электросталь» и «Серп и молот», мы не видим существенных различий между ними. В качестве преимущества проводок завода «Электросталь» можно отметить наличие у них горизонтальных поддерживающих роликов, которые заметно облегчают службу удерживающих роликов (особенно входных) и уменьшают неравномерность их выработки. В проводках этого завода удерживающие ролики расположены глубже в теле линеек. Значительное выдвижение роликов проводок завода «Серп и молот» за внутренние поверхности линеек заставляет их подшипники, воспринимающие в этом случае все удары при прохождении изогнутой полосы, работать в утяжеленных условиях. Кроме этого, на заводе «Электросталь» более удачно решен вопрос защиты подшипников от попадания в них окалины и воды.

По данным технического отдела завода «Электросталь», внедрение на сортовых станах роликовых проводок позволило:

1) ликвидировать зачистку рисок на готовой продукции стана 600; до внедрения роликовых проводок около 40% всего проката кругов подвергалось последующей зачистке;

2) улучшить качество проката по размерам и увеличить на 10% производительность стана 600 при прокатке кругов 70—80 мм; на этих размерах чистовая клеть является узким местом;

3) резко повысить (до 20%) производительность стана 300/450 на мелких кругах диаметром 8—14 мм из нержавеющей стали. Уменьшить на 50% брак при настройках стана, связанных с частой заменой пропусков скольжения. При использовании пропусков скольжения, изготавливаемых из различных

материалов, на профиле неизбежно получались риски, что вызывало очень частую замену пропусков (до 15 пар пропусков в смену);

4) повысить примерно на 7% производительность стана 300/450 при прокатке всех остальных размеров кругов за счет облегчения и ускорения задачи раската в чистой калибр;

5) значительно сократить количество обрезки передних концов при прокатке полос. До внедрения роликовых проводок на

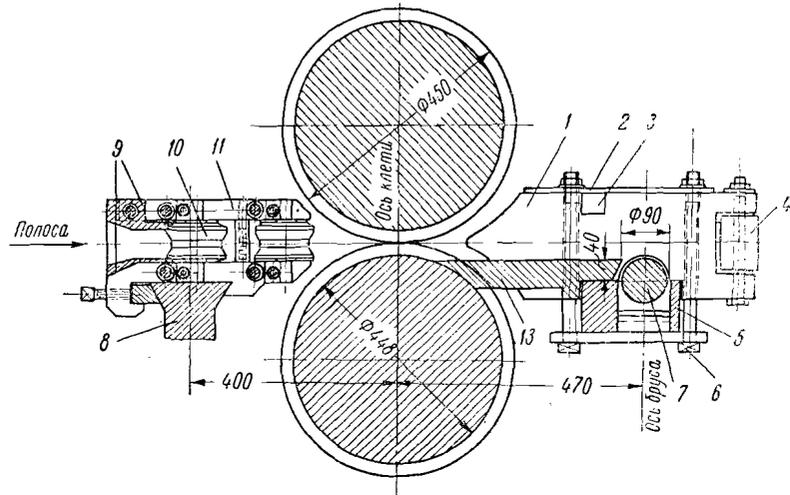


Рис. 7. Роликовая проводковая арматура мелкосортных станов завода им. Серова:

1 — выводная линейка; 2 — планка; 3 — брусок для крепления верхней проводки; 4 — ролик; 5, 6 — проводковые брусья; 7 — ролик проводкового бруса; 9 — приемная воронка; 10 — удерживающий ролик

стане 300/450 при прокатке полос применялась раздвижная пропускная коробка, в которой передний конец полосы часто сваливался;

6) высвободить одного рабочего, занятого обслуживанием раздвижной коробки.

В заключение рассмотрим роликовую проводковую арматуру, применяемую на сортовых станах металлургического комбината им. Серова.

На рис. 7 приведен чертеж роликовой арматуры (разрез вдоль оси прокатки), используемой на сортовых линейных станах 450 и 320 при прокатке круглых, квадратных, шестигранных и полосовых профилей. Размеры профилей (соответственно диаметр, сторона квадрата, ширина) колеблются в пределах 11—100 мм. На станах прокатываются простые углеродистые и высоколегированные марки стали. Роликовая арматура установлена на всех клетях стана, кроме обжимных, которые

также намечается оснастить ею в дальнейшем. Применяется она как и при ручной задаче, так и при прокатке с обводками. По обводкам передаются квадратные сечения с задней стороны стана 320.

Как видно из чертежа, функции вводной арматуры выполняется роликовой проводкой, являющейся типичным представителем рассматриваемой группы вводных устройств. Новым является наличие приемной воронки 9, предназначенной для точного направления полосы в зев роликов и предохранения их от ударов, что особенно необходимо при задаче раската с рольгангов и по обводкам.

В качестве выводной арматуры на обоих станах с 1953 г. успешно применяется комбинация роликового проводкового бруса 5 в сочетании с роликовыми выводными линейками. Подробнее эта арматура будет рассмотрена ниже, в гл. III.

Общие недостатком конструкций этого типа является отсутствие индивидуальной регулировки положения удерживающих роликов в вертикальном направлении. Как уже указывалось, это обстоятельство отрицательно влияет на стойкость роликов и их подшипников и требует более тщательного изготовления всех деталей проводки. Использование с целью регулировки положения проводки подвешенного регулируемого бруса оправдывает себя при односторонней прокатке, но не может быть признано приемлемым при прокатке в несколько ниток.

3. Вводные коробки с роликовыми пропусками

Эта группа проводковой арматуры прокатных станов получила в литературе наиболее полное отражение. Конструктивное оформление таких проводок (количество удерживающих роликов, способ их монтажа, регулировка пропусков и т. д.) самое различное. Область применения этих проводок также весьма широкая. Они применяются при прокатке кругов (диаметром от 8 до 150 мм) и целого ряда других сечений (квадратов, шестигранников, полос и т. д.) самых различных размеров. Однако основное их назначение — ввод сечений неустойчивых форм.

Основные особенности арматуры этой группы можно охарактеризовать очень коротко — это обычные вводные пропускные коробки, в которых пропуски трения скольжения заменены роликовыми пропусками. Подобное механическое копирование привычных форм не имеет серьезного технического обоснования и не может быть признано удачным. Именно поэтому в настоящее время наблюдается тенденция (во всяком случае в отечественной практике) к отказу от такой арматуры и замене ее более совершенными устройствами, созданными путем модернизации конструкции пропускных коробок и самих пропусков и в основном за счет разработки новых типов роликовой арматуры. Тем не менее применение роликовых пропусков даже самого не-

совершенного вида даст существенный технико-экономический эффект, и немало заводов употребляет их в своей практике.

На рис. 8 показана обычная (а) и роликовая (б) вводные проводки, применяемые в английской практике [20] для задачи неустойчивых овальных сечений в круглые калибры.

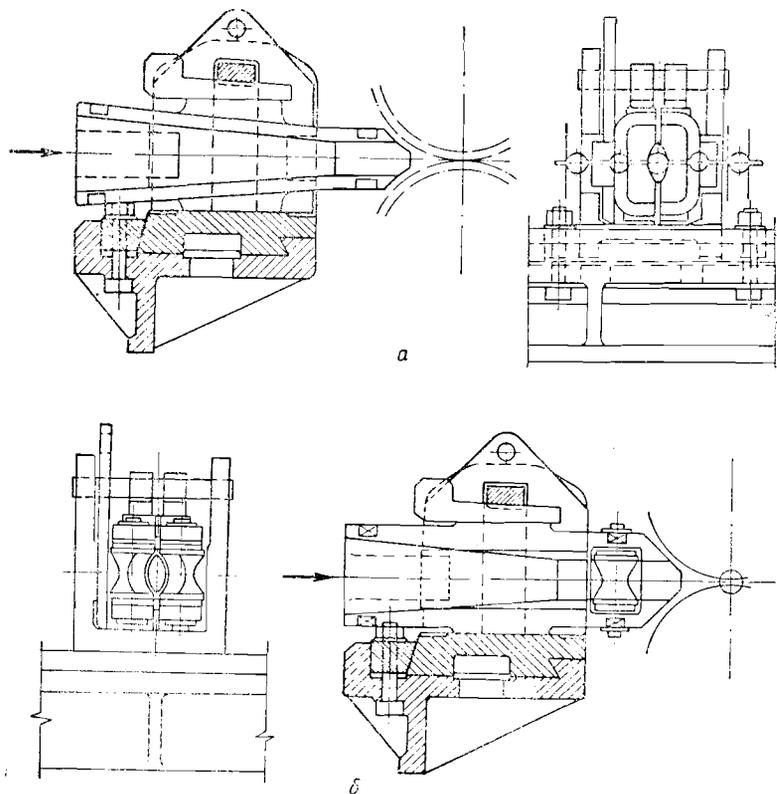


Рис. 8. Вводные пропускные коробки

Как видно из чертежа, обе конструкции выполнены совершенно одинаково. Единственное отличие заключается в замене неподвижных удерживающих элементов профилированными роликами. Подобное простое мероприятие, конечно, не является вполне удачным конструктивным решением, но даже оно, по утверждению автора [20], значительно увеличило стойкость проводок, повысило качество поверхности и позволило выдерживать с высокой точностью размеры профиля в течение длительного периода непрерывной работы. Единственной функцией направляющих (пропусков), в которые вмонтированы удерживающие ролики, является ввод полосы в зев роликов и предупреждение их поломки слишком полным или деформированным раскатом.

Применение клинового крепления пропусков в коробке позволяет быстро освобождать установку от «узлов», забивших пропуск.

Наиболее типичным представителем вводных коробок с роликовыми пропусками может служить конструкция, общий вид которой изображен на рис. 9. Эта коробка с 1954 г. эксплуатируется на чистовой клети среднесортного стапа 450-2 завода «Красный Октябрь» [21].

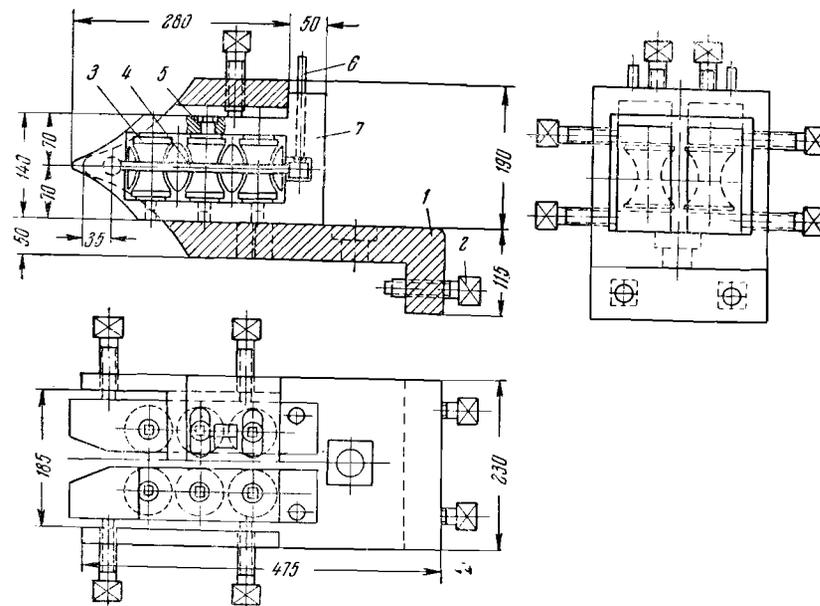


Рис. 9. Вводная коробка с роликовыми пропусками:
1 — корпус; 2 — болт; 3 — ролик; 4 — трубка с брызгалками; 5 — ось ролика;
6 — трубка для подвода охлаждающей воды; 7 — пропуск

В стальную коробку 1 помещают два роликовых пропуска 7. Правильное взаимное положение пропусков в зависимости от диаметра прокатываемых кругов устанавливают при помощи четырех боковых и двух вертикальных болтов. Коробка крепится к проводковому брусу одним вертикальным и двумя торцовыми болтами. Пропуск представляет собой стальную рамку, в проеме которой при помощи оси 5 и подшипников крепятся три вертикальных профилированных ролика 3. Чтобы ось ролика не вращалась во время прокатки, головку ее помещают в квадратное гнездо пропуска. Ролики выполняются из шарикоподшипниковой стали. Поверхность ролика охлаждается водой, подаваемой по трубке 6.

Стойкость роликовых пропусков определяется стойкостью самих роликов и составляет примерно 25 смен, что в 40—50 раз

больше стойкости аналогичных пропусков скольжения. Сменяют ролики за 5—6 мин. Подшипники роликов перед каждой рабочей сменой смазывают солидолом.

По сообщению А. С. Ширваняна [21], в результате внедрения таких коробок с роликовыми пропусками увеличился выход первого сорта до 99,75%, сократились простои стана при переходе на другой профилазмер проката (с 15—16 до 8—10 мин) и уменьшились работы по зачистке поверхностных дефектов (с 23—24% прокатанного металла до 5—6%); более чем в два раза снизилось количество брака (до 0,25%), значительно облегчился труд вальцовщиков. Кроме того, несмотря на повышенную

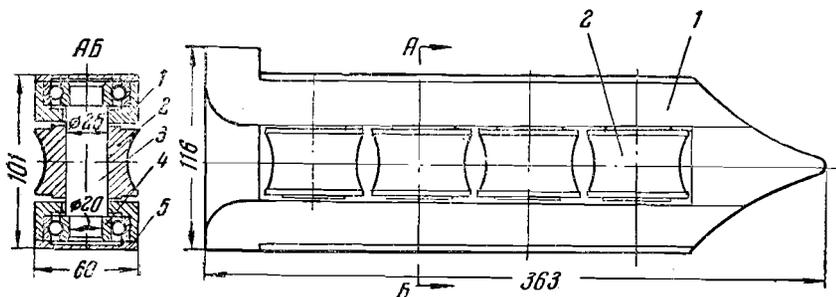


Рис. 10. Роликовый пропуск стана 350 Донецкого металлургического завода:

1 — пропуск; 2 — ролик; 3 — ось ролика; 4 — шарикоподшипник; 5 — защитная прокладка

первоначальную стоимость роликовых вводных проводок, значительно снизились затраты на изготовление и ремонт проводкового оборудования благодаря большому сроку службы роликовых пропусков.

С 1953 г. вводные коробки с роликовыми пропусками аналогичной конструкции применяются при прокатке кругов на мелко-сортных станах 400, 350 и 250 Донецкого металлургического завода. Конструкция этих коробок, разработанная А. Ф. Минаевым [22], отличается от конструкции завода «Красный Октябрь» тем, что в каждом пропуске помещены не три, а четыре пары удерживающих роликов (рис. 10). В остальном, включая способ крепления и регулировки пропусков, коробка Донецкого завода подобна изображенной на рис. 9. На заводе коробки такого типа применяются при прокатке кругов диаметром от 12 до 65 мм.

По заводским данным, технико-экономический эффект от замены чугунных пропусков скольжения роликовыми составляет (только по станам 350 и 400) почти 60,4 тыс. руб. в год и состоит из следующих элементов:

1. Сокращение расхода пропусков (стойкость роликовых пропусков примерно в 10 раз больше стойкости пропусков скольжения из отбеленного чугуна).

2. Сокращение обреза передних концов по «усу» и увеличение выхода горного при прокатке круглых профилей.

3. Уменьшение выхода вторых сортов.

4. Повышение производительности стана при прокатке кругов.

По данным И. Ф. Приходько [94], изготовление для стана 350 одной пары пропусков трения скольжения стоит 1,03 руб., а работа по изготовлению роликовых пропусков, изображенных на рис. 10, — 7,96 руб. С другой стороны, при работе на чугунных пропусках годовой расход их на стане (при прокатке круглых профилей) достигает 1351 пары, тогда как годовой расход роликовых пропусков составляет всего 126 пар. Таким образом, затраты на изготовление пропусков скольжения ($1,03 \times 1351 = 1391,53$ руб.) почти на 400 руб. превышают стоимость изготовления роликовых пропусков ($7,96 \times 126 = 1002,96$ руб.). Из приведенного примера видно, что внедрение роликовых пропусков, даже без учета повышения производительности стана, снижает удельный вес затрат на арматуру, входящих составной частью в себестоимость проката.

Основным недостатком рассмотренных роликовых пропусков следует признать ничем не оправданную установку большого числа удерживающих роликов (три, а тем более четыре пары). В настоящее время не выяснено окончательно, всегда ли можно обеспечить достаточно надежное удерживание овала одной парой роликов. Тем не менее практика ясно показала, что ставить больше двух пар роликов нет прямой необходимости. Установка лишних роликов бесполезно усложняет конструкцию, увеличивает ее габариты и стоимость, затрудняет эксплуатацию, ремонт и настройку арматуры. Недоработкой конструкции следует также считать отсутствие возможности регулировки положения отдельных роликов по высоте (или их перекоса при неизменном взаимном положении), что требует особо тщательного выполнения пропусков и значительно повышает затраты на их изготовление. Регулировка положения пропусков с помощью прокладок не может быть признана удовлетворительной. Это обстоятельство приводит к уменьшению стойкости арматуры из-за неправильной (неравномерной) выработки роликов и утяжеления условий работы их подшипников. Неудачным является и способ установки пропускной коробки на стане. Лучше, например, использовать для этой цели подвесной регулируемый брус (рис. 4). Имеется и ряд других менее существенных недостатков.

Вводные проводки типа коробок с роликовыми пропусками нашли широкое применение и в английской практике.

Если на тихоходных сортовых станах роликовая проводковая арматура используется лишь в отдельных случаях при прокатке неустойчивых сечений и материалов, особенно подверженных поверхностным дефектам, то на современных станах, работающих на скоростях до 15 м/сек, а на мелких профилях и до 25 м/сек,

применение роликовой вводной арматуры считается необходимым для обеспечения нормальной работы стана [20]. Вводные проводки трения скольжения сохранились на этих станах лишь в качестве корректирующих устройств, обеспечивающих точную

ки монтируются на неподвижных осях посредством конических роликоподшипников, которые закрепляются при помощи гаек с контргайками и шайбами. Шайбы защищают подшипники от попадания в них окалины и воды. Оси роликов выполнены с коническими концами, которые входят в углубления на торцах опорных болтов в раме пропуска. Такое крепление осей позволяет легко перемещать ролик по высоте пропуска и устанавливать его в нужном положении.

Помимо этого, появляется возможность полностью собрать ролик до установки его в пропуске, что также имеет определенные преимущества. Во-первых, обеспечивается точность сборки подшипников путем тщательной регулировки затяжки гаек. Это легко достигается с помощью простого удерживающего устройства, которое захватывает конические концы оси, предоставляя свободный доступ к внутренним частям ролика. Во-вторых, собранный ролик, наполненный густой смазкой и хорошо уплотненный, можно сохранить в резерве, а в случае необходимости просто и быстро установить в пропуске.

Клиновое регулирование расстояния между пропусками позволяет прокатывать несколько смежных размеров кругов с одной установки проводки. Регулировка положения пропусков по вертикали осуществляется посредством прокладок и вертикальных стопорных болтов. Сверху коробка закрывается крышкой.

Наличие приемной воронки с плавным входом обеспечивает хорошую подачу раската к роликам и защиту их от ударов загнутых концов полосы, оставляя вместе с тем достаточный зазор для прохода нормальной прямой полосы. Во время работы ролики обильно поливаются водой, которая, по мнению Ф. Старкея [20], служит не только для предохранения роликов от перегрева, но и в качестве смазки их рабочих поверхностей. Для обеспечения нормального срока службы подшипников они периодически смазываются. Периодичность смазки зависит от надежности защиты (уплотнения) подшипников. В данной конструкции она достаточно эффективна, поэтому смазка производится всего один раз в четыре смены.

В силу того, что клиновой механизм расположен с одной стороны коробки, она получается несимметричной, и для лучшего использования бочки валка часто приходится пользоваться коробками левого и правого выполнения.

Конструкция проводки с горизонтально расположенными роликами, изображенная на рис. 11, б, не обладает этим недостатком. Однако в этом случае ролики получаются большего диаметра, что увеличивает их инерцию и приводит к удлинению минимального расстояния между последней парой роликов и плоскостью захвата валков. Отрицательной чертой является также и то, что глубина ручья ролика органичивает зазор по ширине задаваемого овала. Это создает возможность застревания переполненной полосы в проводке, что может привести к забиванию и

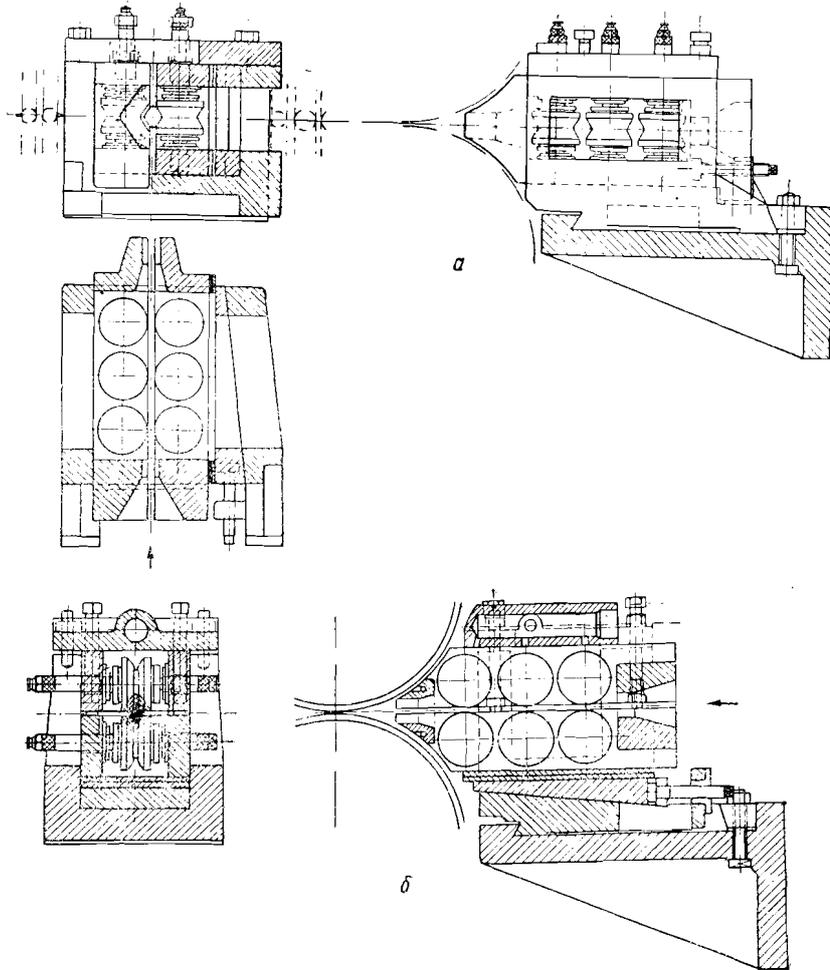


Рис. 11. Роликовые вводные проводки, применяемые в английской практике

подачу устойчивых раскатов к калибру. В остальных случаях устанавливается роликовая вводная арматура.

Вводная арматура рассматриваемого типа, применяемая на современных английских прокатных станах, показана на рис. 11.

Конструкция, изображенная на рис. 11, а, используется для задачи овала в круглые калибры. Вертикальные фасонные роли-

поломке последней. Обеспечение же необходимого зазора в вершине ручья ролика приводит к еще большему увеличению его диаметра. Кроме того, при горизонтальном расположении роликов значительно уменьшается диапазон профилей смежных размеров, которые можно удерживать в данных роликах.

Несмотря на отмеченные недостатки, вводные проводки с горизонтальным расположением удерживающих роликов могут применяться на станах с ограниченным сортаментом, например на проволочном стане, катающем один или несколько размеров кругов.

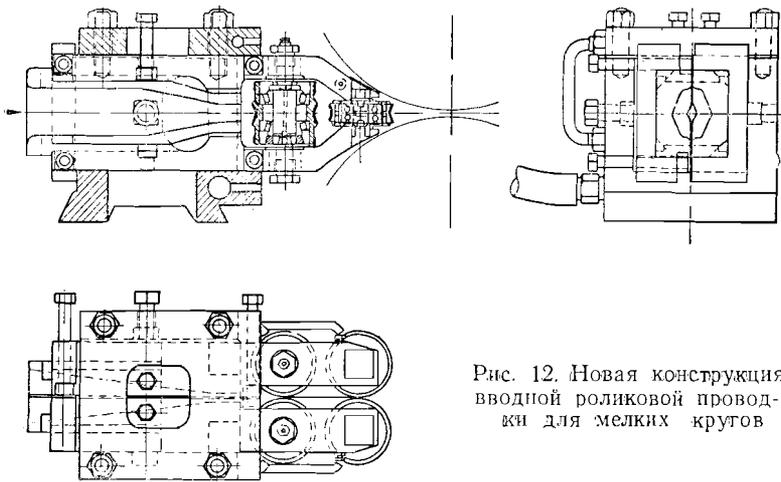


Рис. 12. Новая конструкция вводной роликовой проводки для мелких кругов

В 1956 г. в английской литературе [17] появилось сообщение о дискуссии по статье Ф. Старкея [20]. Ф. Старкей, представляющий одну из английских фирм (Buckley and Taylor Ltd.), занимающихся конструированием и поставкой оборудования прокатных станов, продемонстрировал новую конструкцию вводной роликовой проводки, предназначенной для задачи предчистовых овалов для мелких кругов вплоть до размера 6 s. w. g. (Британский нормальный сортамент проволоки). Эта оригинальная конструкция (рис. 12) представляет интерес как пример максимального приближения последних удерживающих роликов к очагу деформации.

Рассматриваемая проводка является многороликовой пропускной коробкой с жестким креплением роликов. Возможность перегрузки и поломки последней пары роликов (малых) предупреждается наличием второй пары роликов (больших). Установка малых роликов на одном двухрядном шарикоподшипнике, по мнению автора [17], позволит применять подшипники большего номера с повышенной стойкостью и значительно упростит их сборку. Как сообщается, смазка такого подшипника при доста-

точно хорошем уплотнении не вызывает затруднений. Опытная модель при смазке подшипников в 1—2 раза в смену работала более двух лет без поломок из-за недостатка смазки или попадания в подшипники окалины или воды.

Интересно, что в отличие от европейской и отечественной практики в США на многих заводах [18] роликовые проводки, применяемые для задачи овальных и даже шестигранных сечений, выполняются в виде известных вводных коробок с раздвижными пропусками скольжения. Перед задачей овальной полосы в калибр роликовые пропуска такой коробки раздвигаются для свободного прохода переднего конца раската, а затем сжимаются для прочного удерживания полосы в требуемом положении

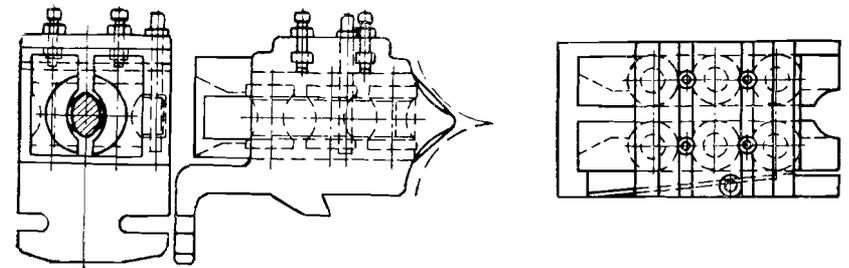


Рис. 13. Вводная коробка с раздвижными роликовыми пропусками

в процессе прокатки. В зависимости от способа передвижения пропусков в коробке последние делятся на винтовые и клиновые. Считается [18], что наименьший овал, который может быть удержан в таких проводках, соответствует кругу диаметром 9,5 мм. Овалы для меньших кругов ввиду значительного удаления удерживающих роликов от валков могут сваливаться в круглом калибре. При применении последних удерживающих роликов очень малого диаметра возможно несколько приблизить их к осевой плоскости валков и удерживать овалы для кругов до диаметра 6,4 мм. При прокатке больших кругов размеры роликов могут стать настолько велики, что громоздкость конструкции будет препятствовать использованию значительной части бочки валков. В этом случае для использования крайних калибров применяются коробки левого и правого выполнения.

На рис. 13 показан эскиз вводной коробки с раздвижными роликовыми пропусками, приводимыми в действие от реечно-клинового механизма. Чистовая клеть сортового стана 300, на которой установлена эта коробка, обслуживается вручную вальцовщиком, задающим с рольганга неискривленный выходящий (задний) конец полосы. Благоприятные условия позволяют работать в данном случае без разведения пропусков коробки во время задачи раската.

Настройка проводки производится по специальному темплету, который выполняется по форме задаваемого овала, но толще его на 0,8 мм. Пропуски устанавливаются таким образом, чтобы все ролики плотно прилегали к поверхности темплета.

Во время работы ролики охлаждаются водой, подаваемой под высоким давлением по трубкам, вмонтированным в тело пропуска. Вода не только эффективно охлаждает ролики, но и смывает окалину, которая иначе собиралась бы в проводках и попадала на валки и в подшипники роликов.

Коробки такого же типа установлены на непрерывном сортовом стане 250, прокатывающем круги малых размеров с выходной скоростью до 12 м/сек. Перемещение пропусков коробки из открытого состояния в закрытое производится вручную с помощью реечно-клинового механизма. По мнению автора [18], на таких высоких скоростях было бы невозможно осуществить ввод искривленных передних концов (получающихся вследствие прокатки в одном направлении) в неподвижные пропуски.

Как известно, вводные проводки с раздвижными пропусками в силу ряда недостатков не нашли широкого применения в практике, хотя такие конструкции известны прокатчикам уже давно. Тем более нецелесообразным представляется использование таких устройств, оборудованных роликами.

Рассмотрим вводное устройство [26], предлагаемое в качестве наиболее типичной конструкции вводной роликовой проводки для задачи овала в круглый калибр чистовой клетки стана 300 (рис. 14).

Пропуски 1 с вертикально расположенными удерживающими профилированными роликами 2 монтируются в стальном (сварном или литом) корпусе. В каждом пропуске помещены два ролика. Пропуски изготавливаются из стали Ст.5, а наиболее ответственные детали — ролики — из высококачественной стали с последующей цементацией поверхности. Роликовые пропуски устанавливаются в цилиндрической втулке 9, которая служит для регулировки положения роликов относительно вертикальной оси чистового калибра (перекоса роликов).

Регулировка положения пропусков при помощи поворота цилиндрической обоймы без взаимного смещения удерживающих роликов, по имеющимся у нас сведениям, не применяется ни в зарубежной, ни в отечественной практике¹. Между тем такой метод регулировки может значительно облегчить и упростить настройку проводок, особенно в случае многониточной прокатки.

Второй отличительной особенностью этой конструкции является работа роликов на текстолитовых подшипниках. Последние представляют собой втулки, запрессованные внутрь роликов;

¹ Оригинальная роликовая проводка с универсальной системой настройки [37] ввиду своей сложности не внедрена в производство.

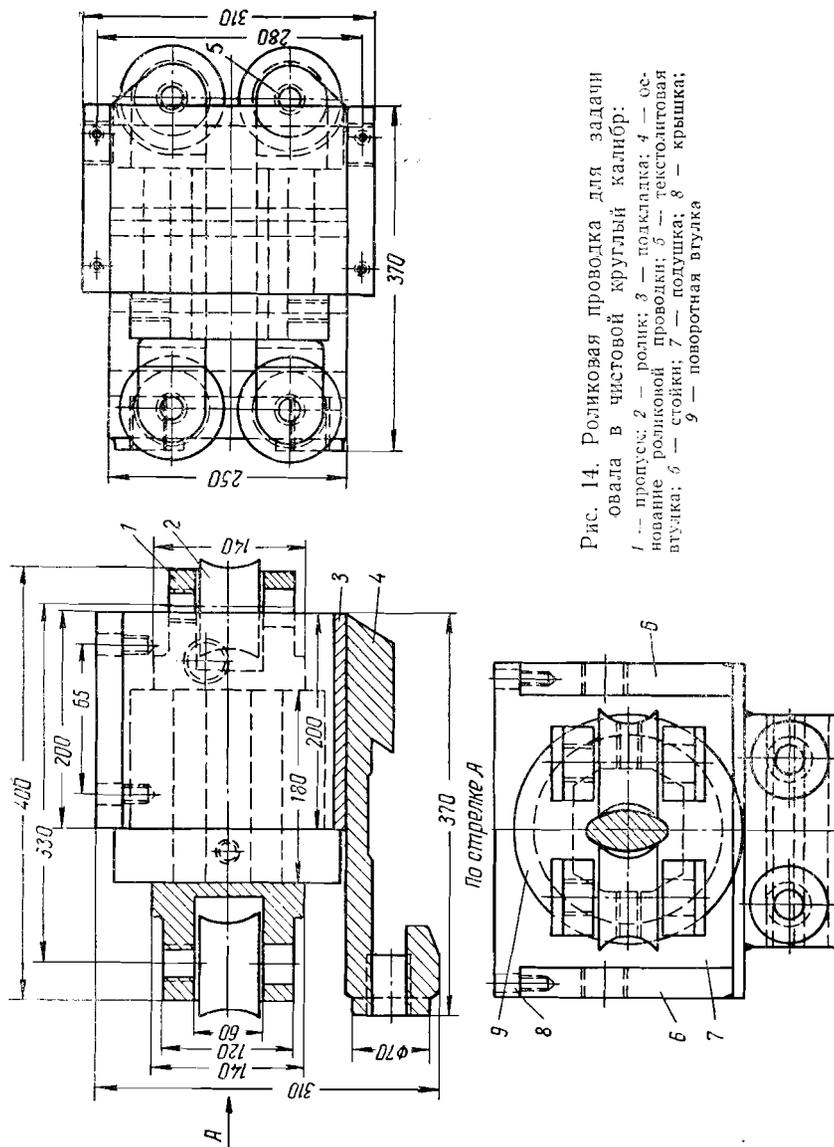


Рис. 14. Роликовая проводка для задачи овала в чистовой круглый калибр:
1 — пропуск; 2 — ролик; 3 — полка; 4 — осевое навание роликовой проводки; 5 — текстолитовая втулка; 6 — стойки; 7 — подушка; 8 — крышка; 9 — поворотная втулка

смазка и охлаждение текстолитовой втулки производится водой, подводимой через сверления в болте, крепящем ролик. По утверждению автора [26], этот способ охлаждения и смазки текстолитового подшипника надежен и вполне себя оправдывает.

Вся установка крепится болтами на проводковом бруске. Регулировка положения роликов относительно калибра и установка необходимых зазоров между ними осуществляется боковыми регулировочными болтами в процессе работы.

Одним из основных показателей работы роликовой арматуры, как справедливо отмечает автор [26], является ее стойкость. К сожалению, в статье не приведены фактические данные, а отмечается лишь, что средняя стойкость рассматриваемой роликовой арматуры во много раз больше, чем арматуры с чугунными пропусками.

Известны случаи употребления роликовых пропусков рассматриваемого типа и при прокатке средних и крупных кругов.

На рис. 15 изображен роликовый пропуск, применяемый для задачи чистового овала при прокатке кругов диаметром 25—48 мм на стане 450 Златоустовского металлургического завода. Такие же пропуска используются на стане 600 при прокатке кругов диаметром 85—150 мм, однако поскольку калибровкой предусматривается получение этих кругов из плоского овала, удерживающие ролики выполняются в виде гладких цилиндров.

Отличительной особенностью этих пропусков является оригинальная конструкция подшипников. Для установки удерживающего ролика на оси используются не обычные стандартные подшипники качения, а только катящиеся тела в виде шариков 4 и цилиндрических роликов 3, помещенные непосредственно в полость между роликом и осью. Ролики подшипника изготавливаются из калиброванной круглой стали У7 и других твердых марок стали без последующей закалки. Шарик берется из обычных отработанных шарикоподшипников.

Подшипники такой конструкции способны выдержать большие радиальные усилия, возникающие при прокатке кругов особенно крупных сечений. Вторым существенным преимуществом подшипника является возможность индивидуальной регулировки положения удерживающих роликов (аналогия с велосипедной втулкой).

Недостатком конструкции следует признать неудачно разработанную систему смазки подшипников и защиту их от загрязнения. Тем не менее, по заводским данным [55], стойкость подшипников достигает нескольких месяцев. Роликовые пропуска при систематической еженедельной ревизии с промывкой и смазкой внутренних трущихся частей солидолом работают около 4—5 недель. Наиболее стойким материалом удерживающих роликов, по наблюдениям завода, оказалась углеродистая сталь 45 (0,40—0,50% С), закаленная в воде.

Монтаж пропусков 2 в пропускной коробке 3 показан на

рис. 16. Говоря о конструкции такой пропускной коробки в целом, необходимо отметить, что она оборудована всего двумя парами удерживающих роликов и, следовательно, не обладает основным недостатком большинства устройств этого типа. Наличие хвостового поддерживающего ролика 1 также является по-

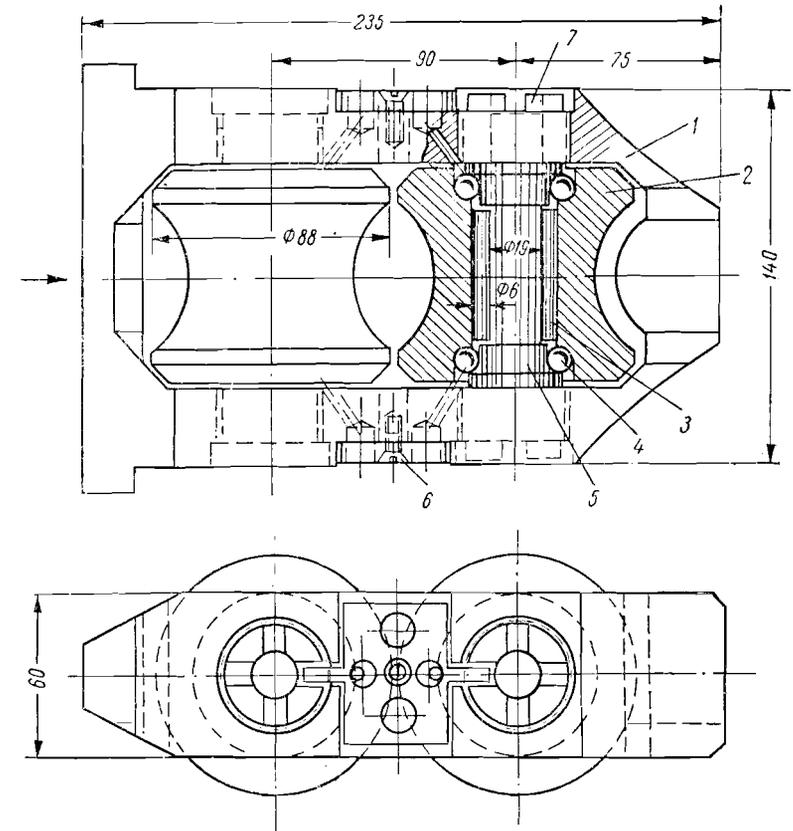


Рис. 15. Роликовый пропуск для задачи средних кругов:
1 — пропуск; 2 — удерживающий ролик; 3 — ролик подшипника; 4 — шарик подшипника; 5 — ось; 6 — шуруп; 7 — пробка для крепления оси

ложительной чертой конструкции. Хвостовой ролик намного облегчает условия работы первой пары удерживающих роликов и их подшипников, особенно при прокатке крупных кругов. К недостаткам коробки следует отнести ее большие габариты по ширине, невозможность перекоса удерживающих роликов и несовершенный способ крепления коробки на проводковом бруске.

В заключение напомним, что школа сортопрокатчиков рекомендует [52] при прокатке кругов более 100 мм применять роликовые пропуска по типу пропусков стана 600 Златоустовского завода.

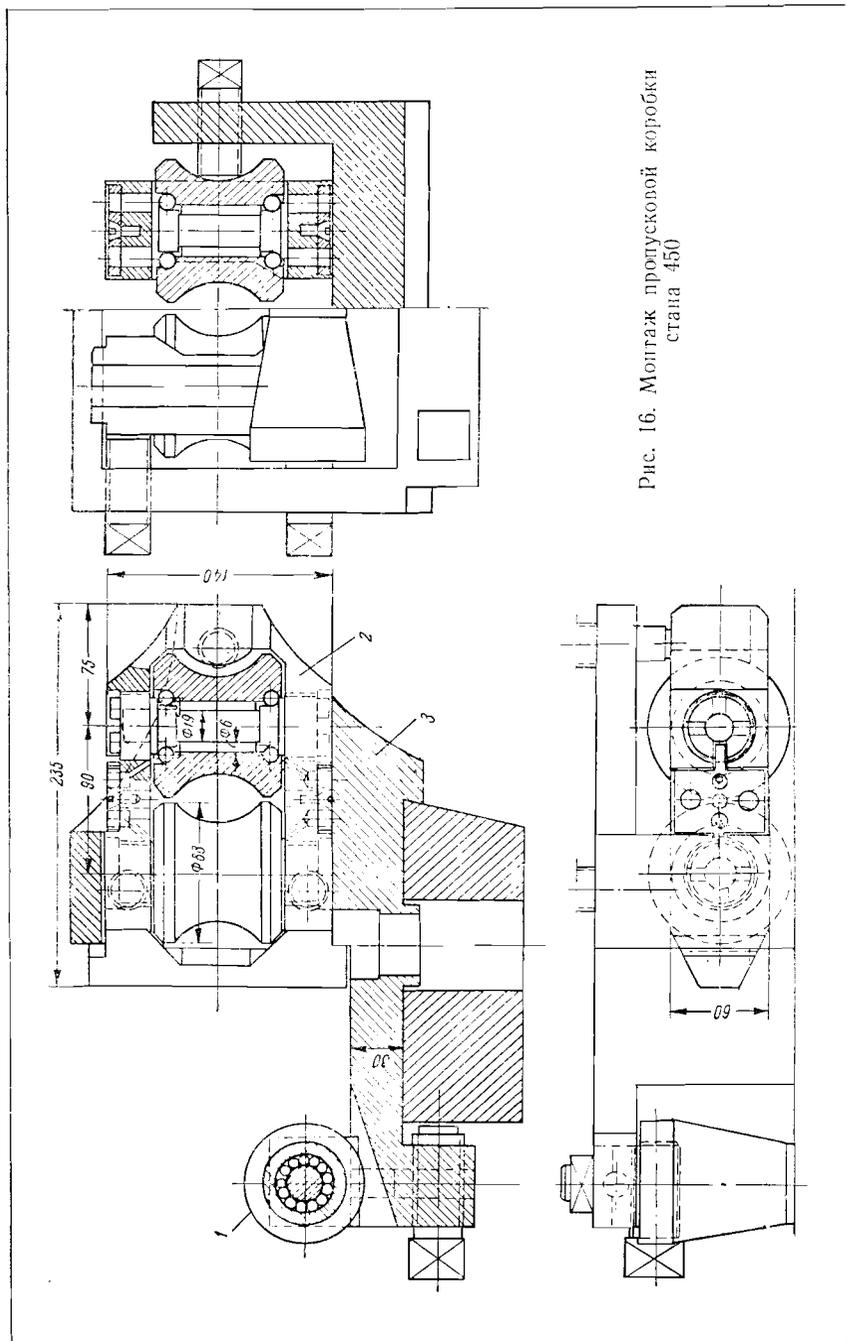


Рис. 16. Монтаж пропускной коробки стана 450

4. Пружинящие роликовые вводные проводки

В начале пятидесятих годов европейская периодическая техническая литература уделила немало внимания шведским вводным роликовым проводкам конструкции Норлинда, применяющимся на сортовых и проволочных станах заводов в Фагерсте, (фирмы SKF).

Первое упоминание об этих проводках встречается у Даля [27], а вскоре публикуется ряд статей Норлинда [23, 24, 28] и других авторов [29, 30 и др.], в которых приводится описание конструкции и некоторые технологические характеристики шведских пружинящих проводок. Примерно в это же время появились аналогичные сообщения в отечественной периодической литературе и в некоторых оригинальных работах [10]. К сожалению, большинство источников освещает эту тему неполно, а некоторые даже и не совсем точно. Наиболее подробное описание конструкции этих проводок и особенности их применения на шведских линейных станах приводится в статье Норлинда [25].

Роликовая арматура, созданная по типу шведских проводок, в настоящее время нашла применение на некоторых отечественных заводах. Краткое сообщение об этом опубликовано в журнале «Металлург» [34].

Поскольку проводки Норлинда принципиально отличаются от остальных известных конструкций вводных проводок, они выделены нами в особую группу вводной проводковой арматуры. Как следует из имеющихся описаний, использование проводок такой конструкции позволило широко автоматизировать с помощью обводных аппаратов передачу овальных полос при прокатке даже таких мелких кругов, как круги диаметром 5 мм, при выходных скоростях прокатки, достигающих 19—25 м/сек.

Роликовая проводка такого типа, изображенная на рис. 17, применяется для задачи овалов в круглый калибр при прокатке кругов диаметром от 5 до 12 мм.

Рассматриваемая конструкция представляет собой пропускную коробку 6, в которой собрана пара направляющих 4 и две пластинчатые пружины (роликодержатели) 7 и 8 с закрепленными на их концах удерживающими роликами 13. Направляющие пропуски 4 нижними выступами вкладываются в паз на дне коробки, а сверху прижимаются двумя болтами 10 через прокладку двутаврового сечения 3. Упор 12 исключает смещение направляющих 4 в сторону движения полосы. Для того чтобы не создавать излишнего сопротивления при задаче раската, овальные пазы направляющих 4 выполнены на 3 мм шире, чем сечение задаваемого овала. Назначение направляющих — ввод овала в зев удерживающих роликов, выпрямление изогнутого раската и предохранение роликов и пластинчатых пружин от динамических перегрузок в случае «завязывания» или разломачивания полосы. Функция удерживания овала от бокового сме-

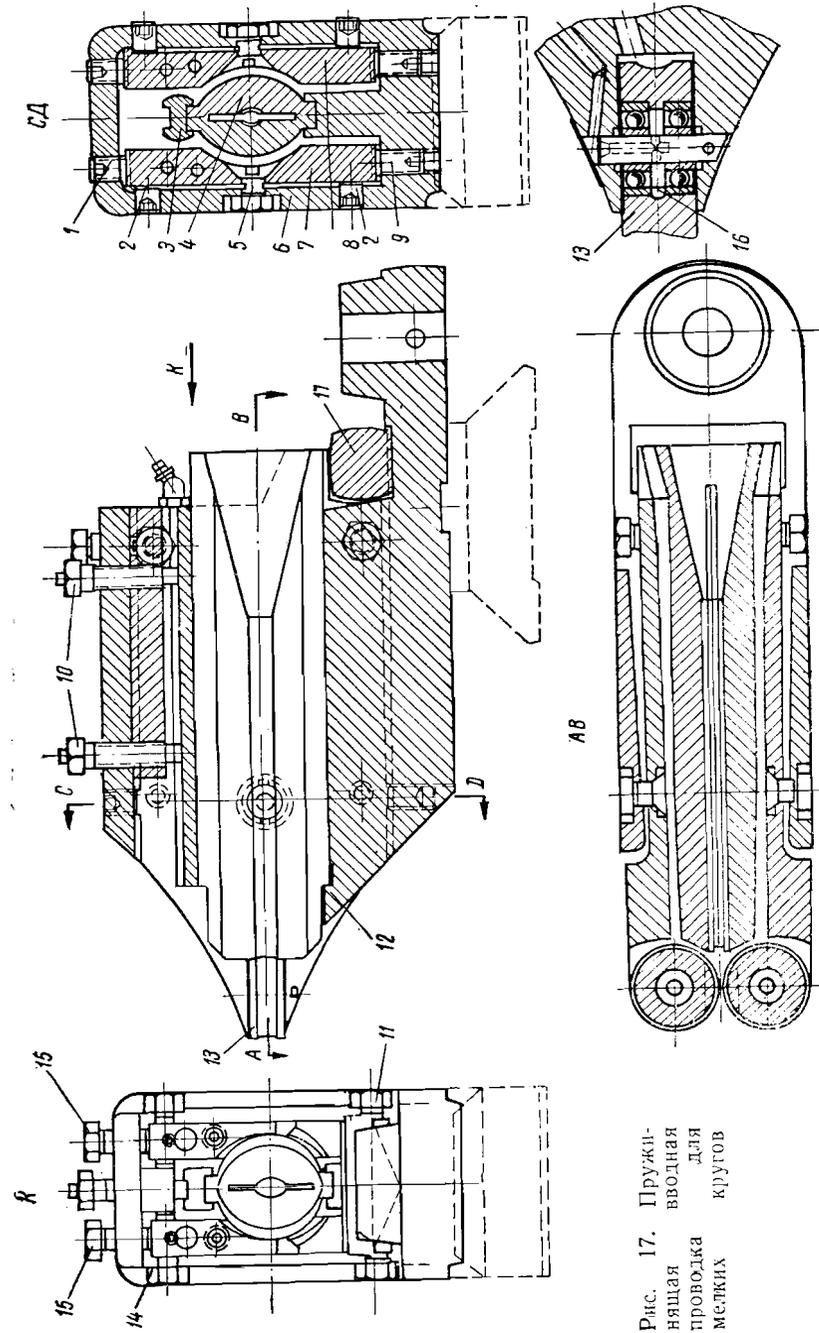


Рис. 17. Пружинящая вводная прокладка мелких кругов

щения или свертывания целиком возлагается на удерживающие ролики.

Пластинчатые пружины 7 и 8 фиксируются в своей средней части стяжными винтами 5 и упорными винтами 2, которые воспринимают давление полосы на ролики (винты 2 расположены несколько позади винтов 5). Разведение роликов на нужное расстояние производится установочными болтами 11 и 14, посредством которых противоположный роликм конец пластинчатой пружины упирается в корпус проводки. Небольшие перемещения роликов (тонкая регулировка) могут осуществляться только болтами 11 и 14 за счет упругих деформаций винтов 5 и 2 и корпуса проводки (вызванных поворотом роликдержателей относительно сечения *CD* как оси). Этому способствует расположение винтов 5 и 2 почти на одной вертикальной линии. При значительном изменении раствора необходимо одновременно с затяжкой установочных болтов 11, 14 отпустить стяжные винты 5 (либо винты 2) или наоборот. Окончательное закрепление роликдержателей производится болтами 15. После настройки ролики удерживаются в разведенном положении и в ненагруженном состоянии. Это необходимо во избежание их поломки от ударов передних концов раскатов, движущихся со скоростью до 19—25 м/сек. Пружинение пластинчатых роликдержателей при увеличенной толщине овала получается симметричным, благодаря чему раскат подается все время по центру калибра.

Установочные болты 11 и 14 пластинчатых пружин утоплены в теле проводковой коробки, что позволяет располагать ее вплотную к станине.

Регулировка положения пластинчатых пружин по высоте осуществляется установочными винтами 1 и 9. С помощью их и качающейся опоры 17 ролики могут смещаться один относительно другого по вертикали, что позволяет держать овал либо строго вертикально, или наклонять его, не меняя установки направляющих. Кроме того, конструкция проводки допускает регулировку положения задаваемого овала путем перекоса роликов в ту или иную сторону без смещения их по высоте.

На рис. 17 крупным планом показан монтаж удерживающего ролика 13 в пластинчатой пружине 7. С целью компенсации износа шарикоподшипников наружные кольца их периодически шлифуют с одной стороны и распирают прокладками 16.

Для предохранения подшипников от попадания в них окалины и воды ввиду отсутствия места для лабиринтного уплотнения в подшипники непрерывно подается смазка под давлением.

Известно, что для лучшего удерживания овала от сваливания удерживающие ролики должны помещаться возможно ближе к валкам. При прокатке кругов диаметром 5 мм расстояние от оси удерживающих роликов до плоскости захвата раската валками составляет примерно 55 мм. Овал при этом удерживается вполне надежно.

При прокатке на непрерывных станах ручьи направляющих 4 выполняются в виде воронок, благодаря чему кантуемый овал может вовсе их не касаться. Указывая, что роликовые проводки обеспечивают вполне надежное удерживание овала, автор рекомендует [28] применять возможно более полные овалы, поскольку при этом увеличивается точность прокатки. Однако полные овалы труднее поддаются скручиванию, и это также необходимо учитывать при передаче раскатов по обводным аппаратам и при прокатке на непрерывных станах с горизонтальными клетями.

Отмечается, что большой зазор между подводимым раскатом и ручьями направляющих обеспечивает свободную задачу раската с любыми заусенцами и растрепанными концами.

Если раскат все же застрянет в направляющих, то его можно вынуть, не трогая пластин с роликами и не меняя настройки проводки.

Канал направляющих пропусков роликовых проводок для чистовых и черновых овалов при прокатке кругов диаметром до 30 мм выполняется радиусом, центр которого совмещен с центром дуги, описывающей профиль овала

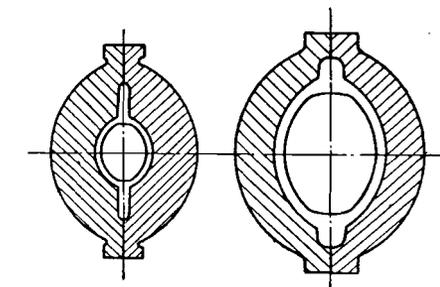


Рис. 18. Конфигурация каналов пропусков роликовых проводок для овалов

(рис. 18). При прокатке кругов диаметром 5 мм ширина этого канала на 2—3 мм больше толщины задаваемого овала. С увеличением размеров профиля величина зазора постепенно увеличивается, достигая примерно 16 мм при прокатке кругов диаметром 150 мм.

Если ручьи направляющих пропусков выполняются большим радиусом, то это затрудняет вход раската в зев роликов. При прокатке более выпуклых (полных) овалов, у которых передние концы часто бывают неровными, канал пропусков должен быть увеличен в вертикальном направлении. Для этого у таких пропусков радиус канала пропусков принимается на 10% больше. Ручьи направляющих пропусков обычно шлифуются с помощью специального приспособления.

Раньше при прокатке кругов диаметром 8—16 мм для выпрямления раскатов, подогнутых при выбросе из обводки, канал направляющих пропусков делался с меньшим зазором. Иногда для этой же цели употреблялись две роликовые проводки, установленные последовательно. Эти мероприятия заметно повышали точность размеров готового проката.

Как сообщает в одной из своих последних работ [25] Э. Норлинд, в настоящее время для выпрямления гнутых раскатов пе-

ред поступлением их в ролики вводной проводки часто применяют роликовые правильные трубки (рис. 19), устанавливаемые между обводкой и вводной проводкой. При этом канал пропусков выполняется в виде воронки и раскат не соприкасается с ним после захвата. Это имеет большое значение при прокатке материалов, склонных к налипанию, например нержавеющей стали. Ролики правильных трубок устанавливаются настолько тесно,

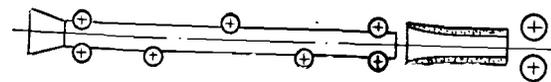


Рис. 19. Схема роликовой правильной трубки

что между ними едва проходит неискривленный раскат. Шведские прокатчики считают [25], что правильные трубки целесообразно применять при прокатке кругов диаметром до 50 мм из стали с содержанием углерода не выше 0,35%. При прокатке твердых сталей правильные трубы следует устанавливать для кругов диаметром не более 8 мм.

Форма канала направляющих пропусков должна предусматривать возможность прохождения переполненного овального профиля. Необходимо, чтобы зазор для заусенцев был не меньше максимально-го зазора между валками. С другой стороны, он не должен быть настолько велик, чтобы в нем мог застрять передний конец раската (рис. 20).

Обычно в качестве материала для направляющих пропусков в проводках для кругов диаметром до 19 мм применяют белый чугун. В проводках более крупных размеров пропуски делают из серого, а иногда из ковкого чугуна. При прокатке в проводке данного номера наиболее крупных из катаемых профилей тело направляющих пропусков получается слишком тонким и сравнительно слабым, поэтому, чтобы избежать поломки во время прохождения изогнутого или переполненного раската, их приходится изготовлять из литой стали. По этой же причине при прокатке твердых сталей часто приходится применять проводки большего номера.

Проводки для крупных кругов, задаваемых в валки с рольганга, оборудуются дополнительными направляющими воронками.

Профиль ручьев роликов для овала выполняется тем же радиусом, что и овального калибра, хотя иногда, особенно при прокатке крупных кругов, применяют ролики с V-образными ручьями. Центральный угол такого ручья составляет 124°.

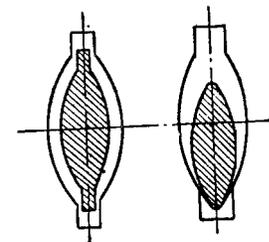


Рис. 20. Калибровка направляющих пропусков для овалов

Для удерживания тонких черновых овалов обычно применяют гладкие некалиброванные ролики, тогда как для выпуклых (полных) овалов используют ролики с V-образными ручьями, центральный угол у которых достигает 144° . Ролики с такими ручьями хорошо удерживают толстые овалы от сваливания в квадратных калибрах.

Несмотря на то что в черновых линиях с обводками, передающими овалы самых крупных размеров, с успехом могут применяться обычные вводные проводки трения скольжения, последнее время в Швеции вместо них устанавливают роликовые проводки. В черновых клетях овые раскаты ведут себя более устойчиво и не требуют такого жесткого удерживания, как чистовые овалы. В связи с этим в роликовых проводках оказывается возможным допустить увеличенный зазор между направляющими пропусками и роликами и задаваемым раскатом. Это обеспечивает более свободное прохождение через проводку раскатов с растрепанным концом или пленой и уменьшает число случаев, «завязывания» полосы. Именно поэтому целесообразно применять роликовые проводки и для задачи крупных черновых овалов.

В проводках для прокатки круглой качественной стали диаметром до 25 мм для изготовления роликов применяется исключительно отбеленный чугуун. При прокатке более крупных кругов ролики изготавливают из различных марок легированной стали. Ролики для чистовых овалов и полосы № 5 (5,59 мм) в виде опыта изготавливали из карбида вольфрама, но двухлетняя эксплуатация этих роликов не позволила сделать каких-либо определенных выводов. При прокатке полос из рядовой стали довольно удачно применяются ролики, наплавленные стеллитом. Применяется также сталь, содержащая 13% Сг и 2% С. Испытывались и многие другие материалы на различных прокатных станах, но поскольку результаты этих испытаний очень противоречивы, составить определенное мнение затруднительно. Характерно, что на многих заводах после экспериментов с различными материалами снова начали изготавливать ролики из отбеленного чугуна.

До настоящего времени ролики проводок для квадратов выполнялись гладкими, как это показано на рис. 21 (слева).

Канал направляющих пропусков в проводках для квадратов достаточно широк, и квадрат может пройти сквозь него с горизонтальным положением диагонали. Зазор между гладкими цилиндрическими роликами выполняется несколько меньше, чем размер квадрата по диагонали. Если квадрат войдет в проводку в ребровом положении, то ролики, обжав небольшой конец раската скантуют его в положение плашмя. Разница между размером по диагонали и по стороне у черновых квадратов не слишком велика. Так, при стороне в 36 мм размер по диагонали будет 46 мм. Поэтому в черновых клетях валки с калибрами

для квадратов должны быть слегка смещены друг относительно друга, так чтобы раскат входил в проводку в положении плашмя.

Вначале пластинчатые роликoderжатели проводок для квадратов проектировались более тонкими и упругими, чем у проводок для овалов, причем зазор между роликами точно соответствовал стороне задаваемого квадрата. Предполагалось, что в случае, если квадрат будет задан в диагональном положении, роликoderжатели смогут спружинить на достаточную величину. Такие проводки были опробованы и при задаче чистовых овалов. Однако в обоих случаях результаты оказались неудовлетворительными и от применения таких проводок отказались.

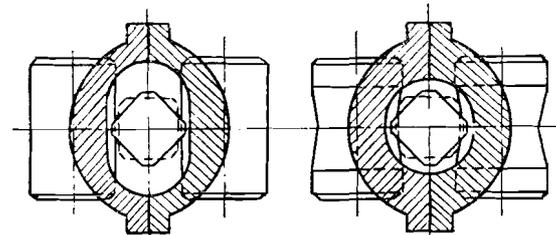


Рис. 21. Профилировка роликов для квадрата

Сейчас ролики проводок для квадратов выполняются так, как показано на рис. 21 (справа). В проводках с такими роликами углы профиля при диагональной задаче квадрата обжимаются меньше, а при нормальной задаче проводка удерживает квадрат более прочно. Преимущества замены вводных пропусков трения скольжения роликовыми проводками особенно заметно сказываются при передаче квадратов по обводкам. Применение в сочетании с обводками пропусков скольжения не гарантирует правильную задачу квадрата в овальный калибр, вследствие чего передний конец овала иногда получается перепопленным (при диагональной задаче) или согнутым набок (при задаче не по центру овала). Это затрудняет прохождение переднего конца раската через вводную проводку и является основной причиной неполадок в работе обводок для овалов.

Для настройки роликовых проводок на определенный зазор между роликами, а также для правильной установки их по высоте и в проводочной мастерской, и в цехе имеются комплекты контрольных темплетов на все катаемые профили и размеры. Контрольные темплеты снабжены наваренными выпусками, которые позволяют проверять положение удерживающих роликов относительно направляющих пропусков непосредственно на стане без его остановки. Иногда при небрежной настройке ролики сдвигаются в сторону от оси прокатки, вследствие чего овал прижимается к одному из направляющих пропусков и может застрять в проводке (рис. 22).

Способ крепления проводки на проводковом бруске показан на рис. 23. В настоящее время проводковый брусок такой формы получил довольно широкое распространение. При установке на нем проводки ее можно легко придвинуть к валкам и закрепить гайкой, доступ к которой совершенно свободен, причем проводка во время закрепления не сдвигается в сторону.

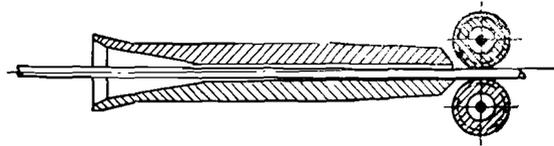


Рис. 22. Неправильная установка удерживающих роликов

Роликовая пружинящая проводка для крупных кругов диаметром 75—155 мм изображена на рис. 24 (слева). Удерживающие ролики проводок для крупных сечений вращаются вместе с осью в конических роликоподшипниках. Ось ролика крепится

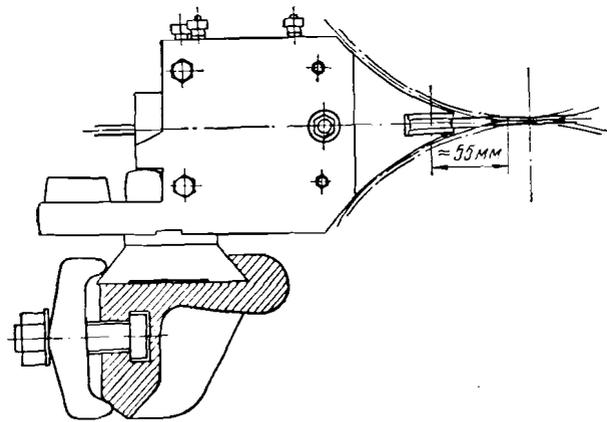


Рис. 23. Крепление вводной проводки на проводковом бруске

с торцов винтами с правой и левой нарезкой (рис. 25). Проводки такого типа могут применяться при прокатке не только чистовых и черновых овалов, но и квадратов, шестигранников и других профилей.

Для задачи полосовых профилей в ребровые калибры применяются несколько видоизмененные проводки, представленные на рис. 24 (справа). В этом случае удерживающие ролики желательно расположить как можно ближе к очагу деформации, и это заставляет применять ролики очень малого диаметра на удлиненных пластинчатых пружинах. В проводках такой кон-

струкции, по утверждению Норлинда, возможно удерживать как мелкие полосы, так и прямоугольное железо с острыми кромками размером до 75 × 200 мм.

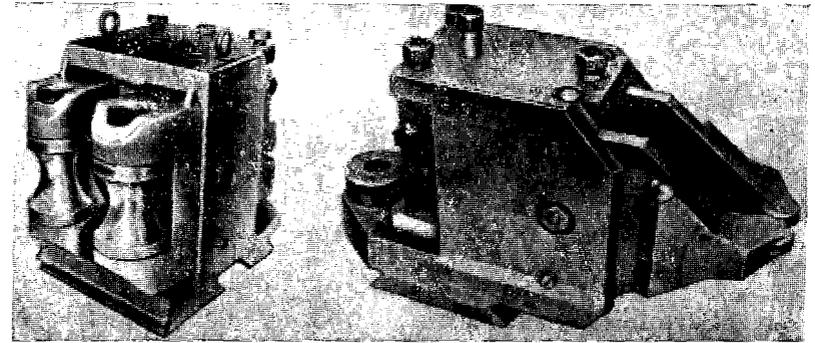


Рис. 24. Роликовые пружинящие вводные проводки для крупных кругов и полос

Шведские роликовые пружинящие проводки успешно применяются для передачи по обводным аппаратам овальных сечений вплоть до соответствующего им квадрата сечением 60 мм при прокатке малоуглеродистой стали и до квадрата сечением 48 мм при прокатке качественных сталей. Они используются и для задачи более крупных сечений вручную.

Не так давно проводки аналогичной конструкции появились и в отечественной практике. Одной из наиболее удачных отечественных конструкций следует считать проводку, изображенную на рис. 26. С 1956 г. она применяется на линейном проволочном стане 250 Московского завода «Серп и молот» для задачи овалов в чистовые клеты при прокатке кругов диаметром 5,25—12,0 мм.

Передача квадратов на стане осуществляется с помощью обводок, задача овалов производится вручную вальцовщиками. Прокатка ведется в 4 нитки. Выходная скорость прокатки в зависимости от профиля составляет 6,5—8,5 м/сек. Сортамент марок стали, прокатываемых на стане, очень широкий и включает низкоуглеродистые (типа Армко), канатные, инструментальные, нержавеющей, жаропрочные, быстрорежущие, автоматные, шарикоподшипниковые, марган-

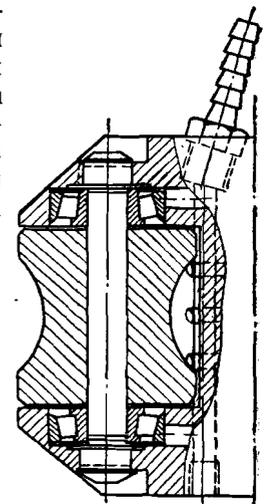


Рис. 25. Установка удерживающих роликов в проводках для крупных кругов

Собранная в мастерской проводка крепится к проводковому брусу 4 болтом 3 с Т-образной головкой, которая входит в паз бруса и может свободно перемещаться вдоль него. На болт надевается планка 1, прижимаемая гайкой 2 к основанию корпуса проводки, выполненному в виде ласточкиного хвоста. Такое крепление проводки на брусе, помимо простоты установки, обеспечивает быстрое ее перемещение вдоль валка и настройку по калибру. Стойкость роликов (до переточки), изготовленных из стали марки ШХ15, составляет около 250 т катанки диаметром 5,25—7,0 мм¹.

Интересно отметить, что до внедрения роликовых проводок на заводе была проведена большая работа по изысканию материала для высококачественных пропусков скольжения, обладающего высокой износоустойчивостью и мало подверженного налипанию прокатываемого металла. В результате этой работы были созданы пропуски весьма высокой стойкости (до 16 смен непрерывной работы) с незначительной склонностью к налипанию. Тем не менее, эти пропуски не устраняли полностью причин образования на профиле задиры и рисок. В связи с этим завод вынужден был пойти на создание и внедрение роликовой арматуры даже с некоторым уменьшением срока службы проводок.

Первые же семь месяцев работы проводок на стане дали следующие результаты:

- а) количество брака снизилось на 20%;
- б) полностью устранены задиры на поверхности готового профиля. Выход годного за счет улучшения качества поверхности увеличился на 15—20%, а по марке 30ХГСА возрос с 30—40% до 90—95%;
- в) применение роликовых проводок улучшило выполнение профиля заданных размеров и облегчило работу вальцовщиков, в результате чего производительность стана возросла на 7%.

Использование для удержания неустойчивых сечений только одной пары роликов является весьма перспективным мероприятием. Оно упрощает конструкцию проводки и удешевляет ее, облегчает проведение раската сквозь удерживающие ролики. Значительно упрощается регулировка и настройка проводки. Последнее объясняется тем, что раскат может поворачиваться на некоторый угол относительно мест соприкосновения с роликами и самоустанавливаться в калибре. Как сообщает один из авторов конструкции проводки завода «Серп и молот», во время испытаний она умышленно сдвигалась с оси калибра как по горизонтали, так и по вертикали, однако это не сказывалось на характере деформации металла в калибре: профиль получался

¹ По заводским данным [34] не только направляющие, но и ролики проводок, изготавливаются на заводе литьем из износостойкого сплава, химсостав которого приведен ранее. Стойкость таких роликов составляет 40—45 смен.

правильным, полосу не сворачивало, усилие задачи практически не увеличивалось.

Возможность пружинения роликов позволяет без труда проводить несколько утолщенные овалы (например, вследствие разницы температур между передним и задним концами раската или при захоложденном в процессе ручной задачи металле), раскаты с заусенцами и даже с расслоенными концами. Кроме того, амортизация роликов значительно облегчает условия службы их подшипников, особенно при больших скоростях непрерывных станов или при задаче раската по обводкам.

Несколько видоизмененная конструкция пружинящей проводки изображена на рис. 27. Она применяется на чистовых клетях сортовых станов Магнитогорского металлургического комбината при прокатке круглой стали. Конструкция этой проводки ясна из рисунка и описана в литературе [13, 38—40, 94]. По некоторым данным [38, 56], высокие технико-экономические характеристики таких проводок обеспечили их успешное внедрение также на сортовых станах Челябинского и Донецкого металлургических заводов.

Роликовая пружинящая проводка, устанавливаемая [94] на чистовой клети шахматного среднесортного стана 350 Макеевского металлургического завода, при прокатке кругов диаметром 32—65 мм показана на рис. 28. Проводка состоит из корпуса 1, в котором на осях 10 укреплены пластинчатые роликoderжатели 13. На концах роликoderжателей установлены ролики 7, калиброванные по форме задаваемого овала. Ролики смонтированы на шарикоподшипниках 6, посаженных на полуоси 8 и 5, которые с помощью штифтов крепятся в вилках роликoderжателей. Смазка подшипников осуществляется от централизованной системы густой смазки. Регулировочные болты 11 и 12, расположенные с разных сторон оси 10, позволяют фиксировать роликoderжатели в требуемом положении и тем самым устанавливать необходимый зазор между роликами. При прохождении раската роликoderжатели, играющие роль пружины, позволяют роликам разойтись в стороны на некоторое небольшое расхождение, определяемое величиной приложенной нагрузки и жесткостью роликoderжателя. Для изменения величины пружинения роликов в коробке перед болтами 12 установлена вторая пара таких же болтов.

Регулировка положения роликoderжателей (роликов) в вертикальном направлении производится вращением осей 10, нижние концы которых ввинчены в дно корпуса проводки. При этом нижняя плоскость роликoderжателя покоится на ступеньке оси, а сверху он прижимается фиксирующей резьбовой втулкой.

Для направления конца раската в зев роликов и предохранения их от ударов и перегрузок в корпусе проводки установлены направляющие пропуски 2. Своими нижними выступами пропуски входят в продольный паз на дне коробки, а сверху зажима-

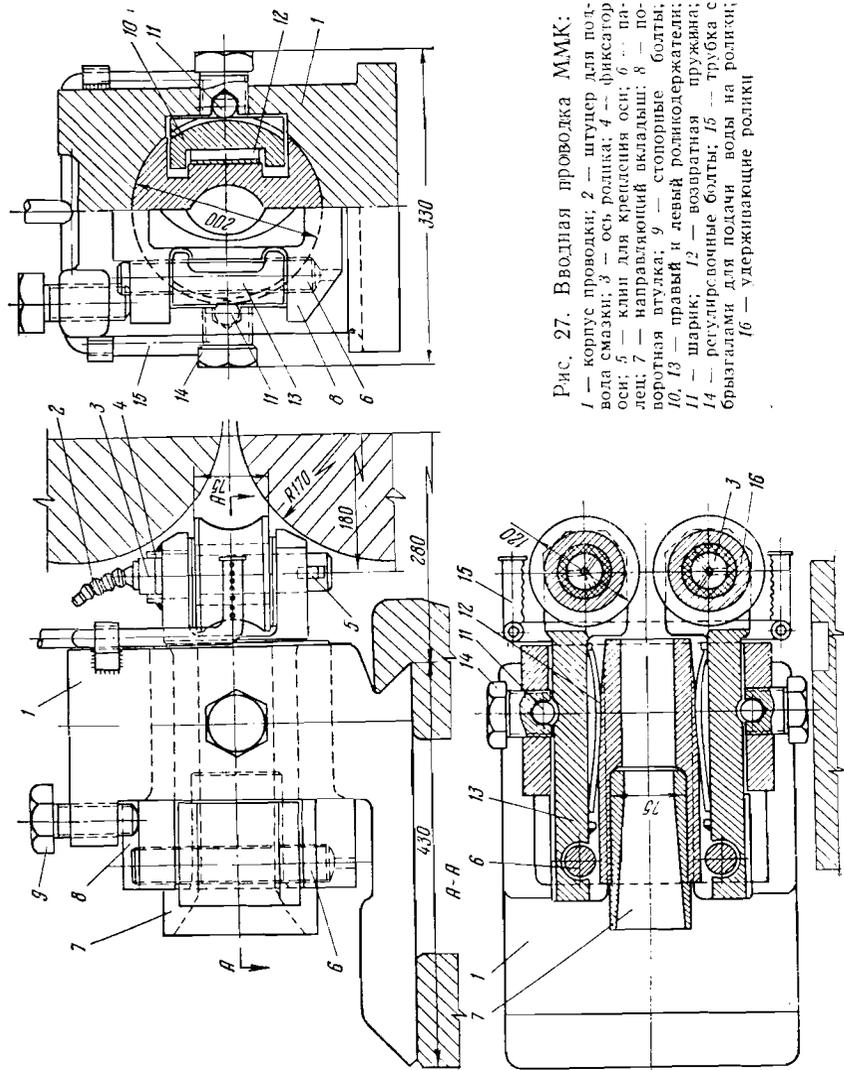


Рис. 27. Вводная проводка ММК:
 1 — корпус проводки; 2 — штуцер для подвода смазки; 3 — ось ролика; 4 — фиксатор оси; 5 — клин для крепления оси; 6 — полусец; 7 — направляющий вкладыш; 8 — поворотная втулка; 9 — створные болты; 10, 13 — шарик и левый роликодержатель; 11 — шарик; 12 — возвратная пружина; 14 — регулировочные болты; 15 — трубка с брызгалом для подачи воды на ролики; 16 — удерживающие ролики

ются фасонным клином 9, который опирается на массивную крышку корпуса. Как и в проводках Норлинда, от продвижения вперед пропуски удерживаются выступом на передней части дна

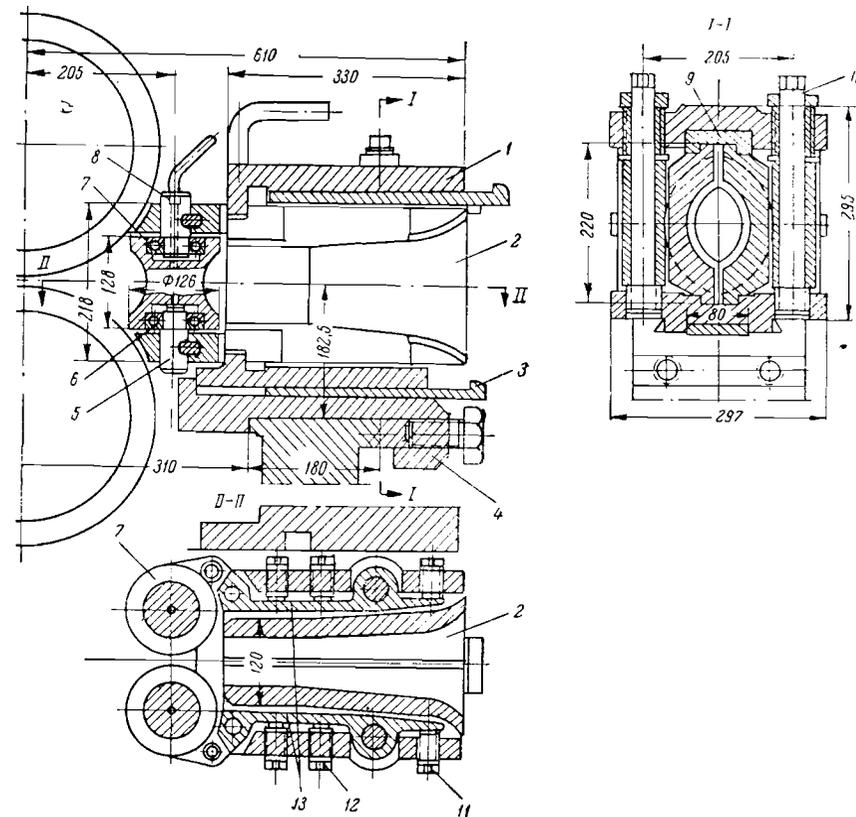


Рис. 28. Вводная проводка чистой клетки шахматного стана 350:
 1 — корпус проводки; 2 — направляющие пропуски; 3 — клин; 4 — установочная плита; 5, 8 — полуси; 6 — шарикоподшипник; 7 — удерживающие ролики; 9 — фасонный клин; 10 — ось роликодержателя; 11, 12 — регулировочные болты; 13 — роликодержатель

коробки. Канал, образуемый рабочими канавками направляющих пропусков, делают на 2—2,5 мм шире размеров поперечного сечения задаваемого овала.

Собранная проводка помещается на установочную плиту 4 и закрепляется на ней клином 3. Плита вместе с установленной на ней проводкой крепится к проводковому брусу с помощью призматического сухаря и двух крепежных болтов. Ролики проводки охлаждаются водой, проводимой по гибким шлангам к трубкам, приваренным к роликодержателям, откуда она через брызгала в передней стенке попадает на ролики.

С точки зрения оригинальности конструкции представляет

интерес пружинящая роликовая вводная проводка конструкции немецкой фирмы Шлёман. Фотография и разрезы этой проводки показаны на рис. 29. Впервые о применении таких прово-

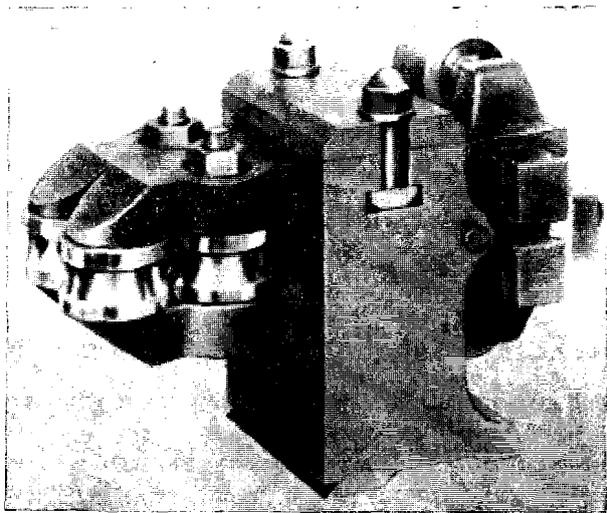
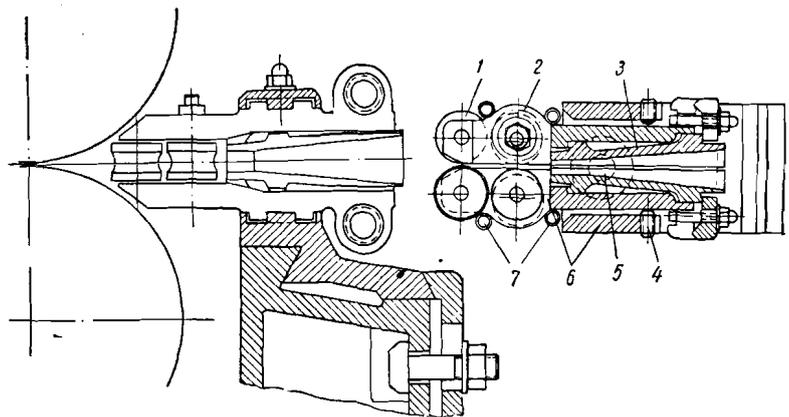


Рис. 29. Пружинящая проводка фирмы Шлёман:

1, 2 — удерживающие ролики; 3 — направляющие пропуски; 4 — регулировочный болт; 5 — поворотная втулка; 6 — роликодержатели; 7 — водоподводящие трубки

док фирма сообщила в литературе в 1960 г. [97], а в 1961 г. вышла небольшая статья Эрнста Куммера [98], в которой роликовые проводки фирмы Шлёман описывались немного подробнее. В отличие от конструкций проводок, рассмотренных в этом параграфе, данная проводка имеет две пары удерживающих роликов. На первый взгляд, она напоминает английскую проводку,

изображенную на рис. 12, однако в силу своих конструктивных особенностей она несомненно должна быть отнесена к группе пружинящих вводных проводок.

Из известных описаний [97, 98] следует, что обе пары удерживающих роликов 1 и 2 (размещенных в вилках роликодержателей 6), а также направляющие пропуски 3, закреплены таким образом, что имеют возможность пружинить при изменении толщины проходящего раската. Регулировка раствора обеих пар роликов и ширины канала направляющих пропусков осуществляется с установкой роликодержателей с помощью поворотной втулки 5* и регулировочных болтов 4. Кроме того, положение каждого ролика второй пары 2 дополнительно может регулироваться поворотом их эксцентричных осей. Первая пара роликов 1, расположенная у валков, настраивается установкой роликодержателя на минимальную толщину задаваемого профиля. Зазор между роликами второй пары можно по желанию изменять в соответствии с меняющимися условиями прокатки без нарушения настройки первой пары. Обычно вторая пара роликов настраивается «более свободно», т. е. расстояние между роликами устанавливается большим, что позволяет расширить канал направляющих пропусков.

Пружинящая вводная проводка, изображенная на рис. 29, установлена в чистовой клетке нового непрерывного мелкосортного стана 250. Проводки такой конструкции установлены и на предыдущих горизонтальных клетях чистовой группы стана. По мнению фирмы Шлёман [97], вводные проводки с двумя парами удерживающих роликов особенно целесообразно применять там, где задаваемый раскат имеет значительные искривления по длине, например при задаче из обводок или петлевиков. Для задачи черновых овалов рекомендуются [97, 98] пружинящие проводки с одной парой роликов.

5. Двухроликовые проводки непрерывных станов

На рис. 30 представлена вводная роликовая проводка, успешно применяемая с конца 1955 г. при прокатке кругов (диаметром 10—25 мм) и арматурных профилей (№ 14—25) на чистовой клетке непрерывного стана 350-2 Макеевского металлургического завода. Проводки такого типа, впервые примененные в Советском Союзе, получили широкое распространение на отечественных непрерывных сортовых станах.

Прокатка на этом стане круглых сечений со скоростью 10—15 м/сек при использовании пропусков скольжения сопровождалась получением на готовом профиле рисок, сваливанием овала (особенно при прокатке арматурного профиля) и частым застре-

* Принцип работы и конструкцию этого приспособления установить из имеющихся материалов не представляется возможным.

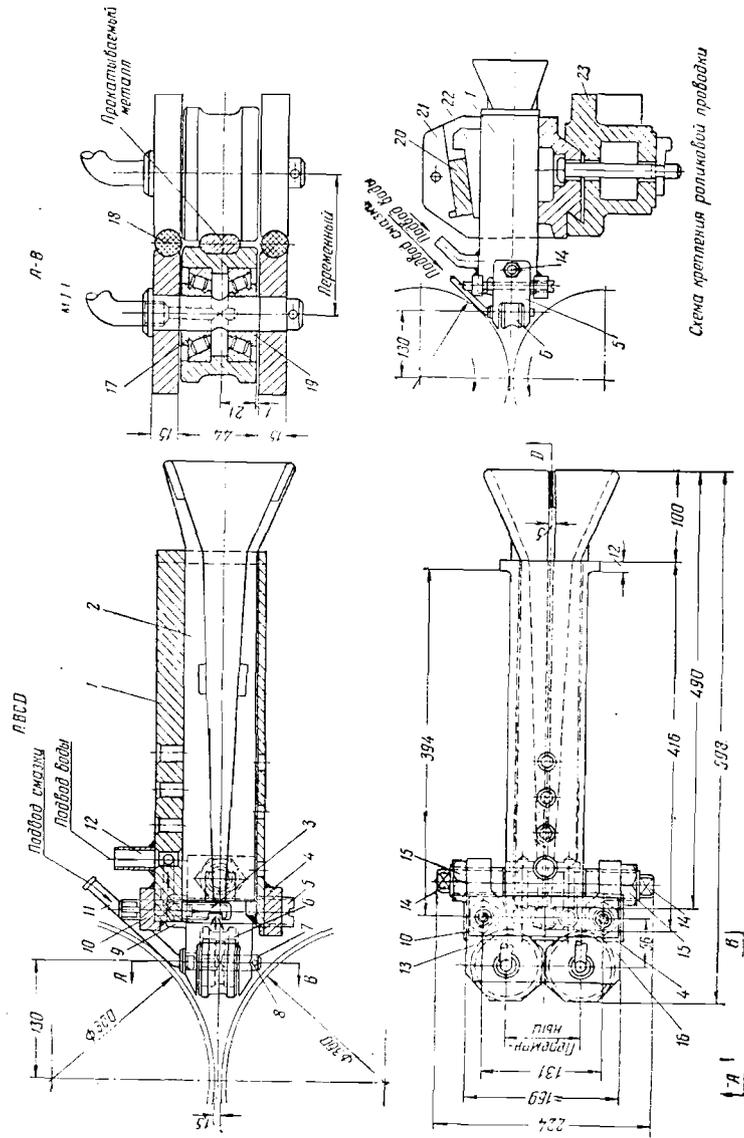


Схема крепления роликовой проводки

Рис. 30. Двухроликовая проводка непрерывного сортового стана 350.

1 — корпус проводки; 2 — направляющие пропускки; 3 — брызгала; 4, 10 — планки; 5 — ось роликотержателя; 6 — удерживающие ролики; 7 — ось ролика; 8 — шплинт; 9 — гайка; 11 — маслопровод; 12 — труба для охлаждающей воды; 13, 16 — роликотержатели; 14 — регулировочные болты; 15 — контргайка; 17 — роликотодшипник; 18 — резиновая прокладка; 19 — шайба; 20 — брусок; 21 — коробка для крепления проводки; 22 — каша; 23 — проводочный брус

ванием раската в пропусках. Наличие дефектов, обусловленных несовершенством арматуры, и частых неполадок в работе стана заставили работников цеха переделать существующую вводную коробку, заменив в ней пропуски скольжения двумя профилированными удерживающими роликами. Несмотря на то, что роликовая коробка создавалась путем переделки уже существующей проводки скольжения, конструкция ее получилась довольно удачной. Основными ее достоинствами следует считать простоту изготовления и надежность в работе.

Роликовая проводка состоит из корпуса 1, снаружи которого на приваренных верхней и нижней планках 10 и 4 посредством регулируемых осей установлены вильчатые роликотержатели 13 и 16 с профилированными удерживающими роликами 6. В корпусе прямоугольного сечения 1 помещены две направляющие 2, служащие для подвода раската к роликам. Роликотержатели фиксируют на оси 5, устанавливаются на ее нижнюю утолщенную часть и зажимают сверху гайкой 9. Нижний конец оси посажен на резьбе в планку 4. В хвостовых частях роликотержателей имеются резьбовые отверстия для боковых установочных болтов 14 с контргайками 15. Удерживающие ролики помещаются в вилках роликотержателей на осях 7 в конических роликотодшипниках 17. Ручей ролика калибруется в соответствии с прокатываемым профилем.

Материал роликов — сталь марки 65Г, подвергнутая последующей термообработке, обеспечивающей твердость порядка 350—380 НВ.

Роликовая проводка в собранном виде помещается во вводную коробку и крепится клиновым зажимом. Схема крепления роликовой проводки в коробке и установки последней на проводковом бруске показана на рис. 30 справа внизу.

Поскольку подшипники роликов работают в тяжелых динамических и скоростных условиях (до 3500 об/мин), смазке их уделено особое внимание. Смазка осуществляется от автоматической или ручной станции через питатели ПАГ-60 по трубопроводу 11 через сверления в осях 7. Подача смазки производится через каждые 10—15 мин.

Охлаждение роликов производится водой, подводимой по трубопроводу 12 и сверлениям в верхней части корпуса 1 к брызгалкам 3. Направляющие 2 также охлаждаются водой, подводимой по трубкам к отверстиям в верхней части корпуса.

Как уже отмечалось, культура производства и, в частности, правильная эксплуатация и хорошо налаженный уход за роликовым проводковым оборудованием значительно повышают эффективность его использования. В этой связи представляется небезынтересным отметить положительный опыт Макеевского металлургического завода.

Сборка роликовых проводок производится в проводочной мастерской. В корпусе устанавливаются направляющие и плотно

закрепляются с помощью прокладок и клиньев. Расстояние между направляющими устанавливается с таким расчетом, чтобы задаваемый раскат после осуществления захвата не соприкасался с ними. Практика показала, что зазор между раскатом и стенками направляющих должен находиться в пределах 1,5—2,0 мм. Меньший зазор приводит к застреваниям переднего конца раската, больший — к сильным ударам раската о ролики. Правильность установки направляющих проверяется шаблоном. Специальным приспособлением проверяется также положение их относительно оси прокатки.

Поскольку направляющие служат лишь для ввода переднего конца раската в зев роликов и не соприкасаются с раскатом во время прохождения полосы через валки, они почти не изнашиваются и заменяются только с переходом на новый профиль.

Установка роликoderжателей 13, 16 с удерживающими роликами 6 и вертикальных регулируемых осей 5 производится при первоначальной сборке проводки. Ролик с двумя подшипниками 17 закрывается шайбами 19 и вводится в вилку роликoderжателя. После центрирования ролика относительно роликoderжателя он крепится на оси 7 с помощью шплинта 8. В верхнюю часть оси ролика ввертывается трубка 11 для подвода смазки.

Настройка роликов производится по ранее установленным направляющим. Положение ролика по высоте проводки регулируется поворотом оси 5 и фиксируется гайкой 9. Смещение по горизонтали и установка необходимого зазора между роликами осуществляется боковым болтом 14 и контргайкой 15. Ролики удерживаются в разведенном состоянии резиновыми прокладками 18, которые помещаются между роликoderжателями перед сборкой.

Применение специального стенда и необходимых шаблонов для сборки и настройки роликовых проводок в проводочной мастерской исключило необходимость их дополнительной настройки на стане, а операцию замены проводки позволило осуществлять за 2—3 мин.

Регулировка зазора между роликами по мере их выработки производится во время коротких пауз без остановки стана.

Четкая организация и высокая культура арматурного хозяйства позволили быстро внедрить роликoderжательную проводку на стане и существенно улучшить технико-экономические показатели его работы (табл. 1).

В заключение отметим, что в конструкции вводной роликoderжательной проводки Макеевского завода наряду с использованием только одной пары роликов очень удачно решен вопрос их индивидуальной регулировки в вертикальном направлении. Отсутствие возможности перекося роликов в условиях работы непрерывного стана 350-2 может быть легко компенсировано применением регулируемого проводкового бруса.

Опыт, накопленный при внедрении новой арматуры на мелко-сортном стане, позволил работникам завода применить роликoderжательные проводки и на непрерывном проволочном стане 250. Специфика условий работы на этом стане (двухниточная прокатка и ограниченность габаритов, высокие скорости прокатки, достигающие 20—22 м/сек, и малые размеры задаваемого сечения) заставили изменить некоторые конструктивные размеры проводки, но в принципе она не отличается от рассмотренной выше проводки. Наиболее существенные отличия заключаются в том, что в проводке проволочного стана ролики посажены на шариковые подшипники (легкая серия № 7000102 ГОСТ 4788—49) вместо роликoderжательных. Размеры роликов уменьшены (высота 15 мм; диаметр 42 мм), вследствие чего расстояние от осей роликов до осевой плоскости валков составляет всего 65—70 мм.

Положительный опыт Макеевского завода вскоре был перенят прокатчиками Криворожского металлургического завода им. В. И. Ленина. В настоящее время сортовые станы¹ этого завода оборудованы роликoderжательными вводными проводками. Общий вид проводки, установленной на чистовой клети непрерывного мелко-сортного стана 250-2, показан на рис. 31. Она предназначена для введения чистовых овалов при прокатке кругов диаметром 10—22 мм и арматурной стали № 10-25.

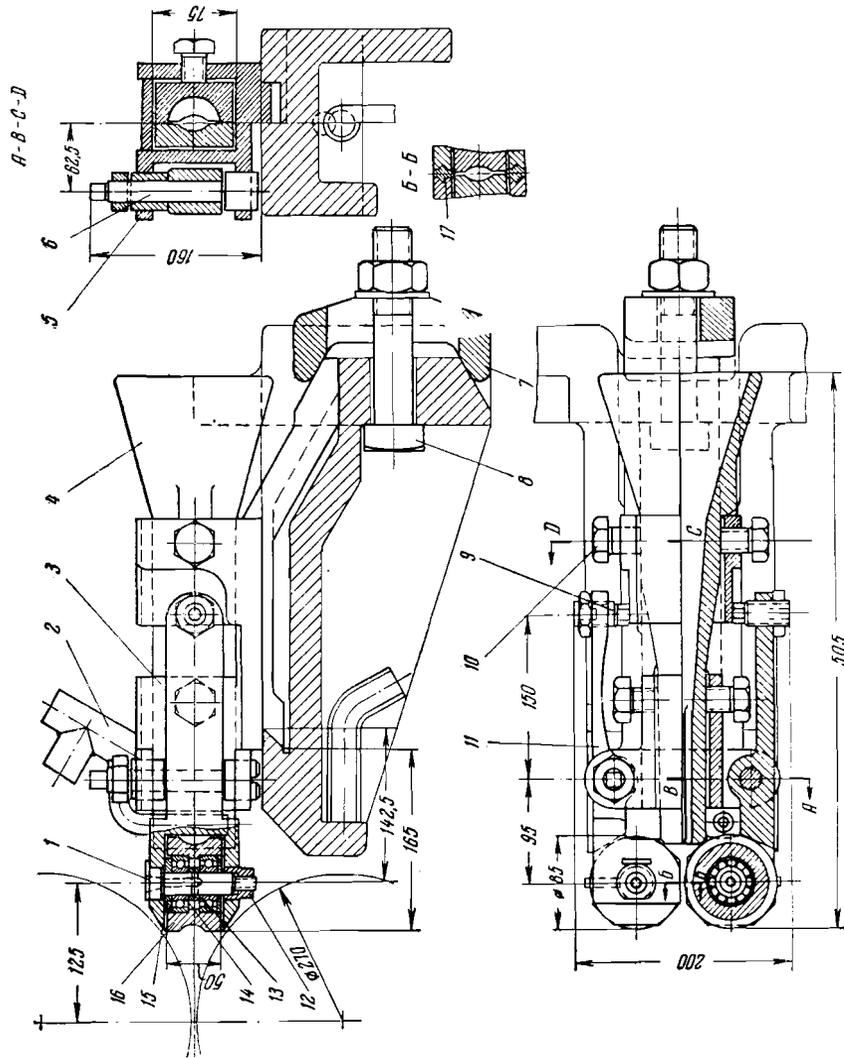
Проводка монтируется в корпусе 3, закрепляемом на проводковом бруске с помощью болта 8, который, зажимая скобу 7, надежно удерживает проводку в требуемом положении. В передней части корпуса имеются проушины, в которых на осях 6 монтируются роликoderжатели 11, несущие на своих концах удерживающие калиброванные ролики 16. Задний конец роликoderжателя, выполняющий роль пружины для смягчения пиковых нагрузок на ролики, опирается на стенки корпуса через винты 9, с помощью которых регулируется зазор между роликами. Для удержания роликов в разведенном состоянии во время пауз в канавки на концах роликoderжателей вставляются резиновые прокладки 17. Регулировка положения роликов в осевом направлении производится вращением осей роликoderжателей 6, ввинчиваемых своей нижней утолщенной частью в корпус проводки. Резьбовая втулка 5 прижимает роликoderжатель 11 к уступу оси и таким образом фиксирует его положение в вертикальном направлении. Ролики на подшипниках 14 монтируются в вилках роликoderжателя на осях 1. От попадания окалины и воды подшипники сверху и снизу прикрыты шайбами 15. Предотвращению подшипников от загрязнения способствует также принудительная подача смазки, которая поступает от централизованной системы с частотой импульсов 31 в секунду.

Густая смазка подается по маслопроводу в отверстие в оси ролика, откуда по радиальным сверлениям поступает в полости

¹ Описание этих станов, а также непрерывных проволочных станов и применяемой на них проводковой арматуры приводится ниже в главе IV.

Рис. 31. Роликовая вводная проводка непрерывного мелкосортного стана 250.

1 — ось ролика; 2 — патрубок для охлаждающей воды; 3 — корпус проводки; 4 — направляющие пропуски; 5 — резиновая втулка; 6 — ось роликодержателя; 7 — скоба; 8 — болт; 9 — регулировочные винты; 10 — болты для крепления пропусков; 11 — роликодержатель; 12 — регулировочная втулка; 13 — распорное кольцо; 14 — шарикоподшипник; 15 — защитная шайба; 16 — ролики; 17 — резиновые прокладки



подшипников. На стане в качестве опор качения удерживающих роликов испытывались однорядные радиальные шарикоподшипники № 304 и конические роликоподшипники № 7304. Работавшая проводка на шариковых подшипниках показала, что их стойкость в значительной мере зависит от удачного подбора толщин шайб 15 и силы затяжки регулировочной втулки 12, которая через уплотнительные шайбы и распорные кольца 13 фиксирует положение роликов в осевом направлении. Кроме этого, стойкость подшипников зависит от правильности установки проводки и некоторых технологических факторов (например, настройки стана). Практически средняя стойкость подшипников № 304 составляет 2—3 суток. Роликовые подшипники стоят несколько дольше не только потому, что они обладают более высоким коэффициентом работоспособности, но еще и потому, что они меньше реагируют на неточности монтажа роликов самой проводки. Сами ролики изготавливаются либо из стали 30ХГСА, либо (чаще) из отбеленного чугуна. Стойкость стальных роликов редко превышает 2—3 смены. Чугунные ролики в зависимости от прокатываемого профиля выдерживают между переточками от 2 до 5 суток. Изношенные ролики ремонтируются путем переточки их ручьев на больший профилируемый размер.

Для правильного подведения переднего конца раската к зеву роликов проводка оборудуется направляющими пропусками 4, напоминающими по форме вводные пропуски трения скольжения. Канал, образуемый канавками направляющих пропусков, начинается с широкого раструба, предназначенного для улавливания переднего конца раската, который плавно переходит в постепенно суживающуюся воронку. Вначале эта воронка имеет сечение в форме круга, а в узкой части — форму овала с вертикально расположенной большой осью. Такая форма сечения подводящего канала, обеспечивающая правильный ввод раската в ролики, остается постоянной на длине примерно 100 мм от носка пропусков. Суживающаяся воронкообразная часть канала предусмотрена для выправления положения переднего конца, если он почему-либо был задан в проводку в неправильном положении. Направляющие пропуски крепятся в корпусе проводки четырьмя болтами 10. Кроме этого, от перемещения вперед пропуски надежно удерживаются специальными приливами, имеющимися на наружной поверхности приемного раструба, которые упираются в заднюю стенку корпуса. Пропуски изготавливаются из стали 35

Охлаждение роликов производится водой, подаваемой резиновым шлангом в патрубок 2, из которого она по более тонким трубам поступает на ручки роликов. Толстый штуцер патрубка предназначен для направления охлаждающей воды на ручьи верхнего вала.

Очень мало отличается от конструкции проводки Макеевского завода (рис. 30) двухроликовые вводные проводки, установ-

ливаемые [94] на всех горизонтальных клетях чистой группы непрерывного мелкосортного стана 300 Челябинского металлургического завода. На стане катают рядовые, легированные и конструкционные марки стали с выходной скоростью прокатки, достигающей 13—15 м/сек. Роликовая арматура устанавливается при прокатке кругов диаметром 14 ÷ 30 мм и арматурной стали № 14 ÷ 18. Овалы первых клетей чистой группы имеют плоскую форму и хорошо удерживаются от сваливания гладкими цилиндрическими роликами. Для удерживания предчистовых свалов применяют калиброванные ролики, ручки которых имеют овальную форму.

В отличие от проводки Макеевского завода для направления раската в ролики применены не цельные, а составные направляющие пропуски, оборудованные с входной стороны сменной воронкой. С передней части корпуса проводки приварен Г-образный кусок трубы, с помощью которого охлаждающая вода из гибкого резинового шланга подается на рабочий ручей нижнего вала.

Интересно, что на Челябинском металлургическом заводе двухроликовые вводные проводки применяют и на чистой клетке крупносортового линейного стана 780, прокатывающего круглые заготовки диаметром 80—150 мм. Конструктивное исполнение этих коробок, естественно, несколько иное, но в принципе они не отличаются от проводок рассматриваемого типа, описанных выше.

6. Вводные проводки для фасонных профилей

Особую группу вводной роликовой арматуры представляет конструкция, изображенная на рис. 32. Эта проводка в конце 1956 г. была внедрена¹ на мелкосортном стане 250-1 Криворожского металлургического завода. Она предназначена для задачи уголка 35 × 35 мм в валки чистой клетки, однако при соответствующем изменении конфигурации направляющих 7, 8 и удерживающих роликов 10, 11 может быть использована и при прокатке других профилей. Коробки такой конструкции наиболее целесообразно применять для задачи фасонных профилей сложной конфигурации (бортовые кольца, оконно-рамные профили, швеллеры и т. п.). Описание конструкции и техническая характеристика проводки впервые были опубликованы в отечественной литературе [37]. Позже эти данные появились в иностранных источниках и в целом ряде отечественных работ [13, 94, 102 и др.].

¹ В настоящее время прокатка угловых профилей на стане ведется с применением обычных вводных пропусков трения скольжения. Отказ от роликовых проводок обусловлен внедрением на стане новой калибровки. (Подробнее см. гл. IV.)

Следует отметить, что использование вводных роликовых пропусков для задачи раскатов, имеющих поперечное сечение относительно сложной формы, до сего времени на заводах Союза не практиковалось. Не известны такие случаи и в заграничной практике. Таким образом, рассматриваемая роликовая коробка является шагом вперед в развитии нового вида проводковой арматуры и заслуживает внимания не только вследствие оригинальности конструктивного решения поставленной задачи, но также в силу постановки такой задачи.

Роликовая коробка состоит из корпуса 3, который крепится на проводковом брусе 4 посредством сухаря 17 и двух установочных болтов 16. Передняя часть корпуса коробки имеет проушину, в которой помещен нижний удерживающий ролик 10. Верхний ролик 11 установлен позади ролика 10 в специальной серьге 2, качающейся относительно оси 19, закрепленной в верхней части корпуса. Этим обеспечивается свободное перемещение ролика по вертикали. В крайнем нижнем положении ролик удерживается грузом, подвешенным на скобе 15 к оси 12. Регулировка расстояния между роликами осуществляется с помощью болта 1.

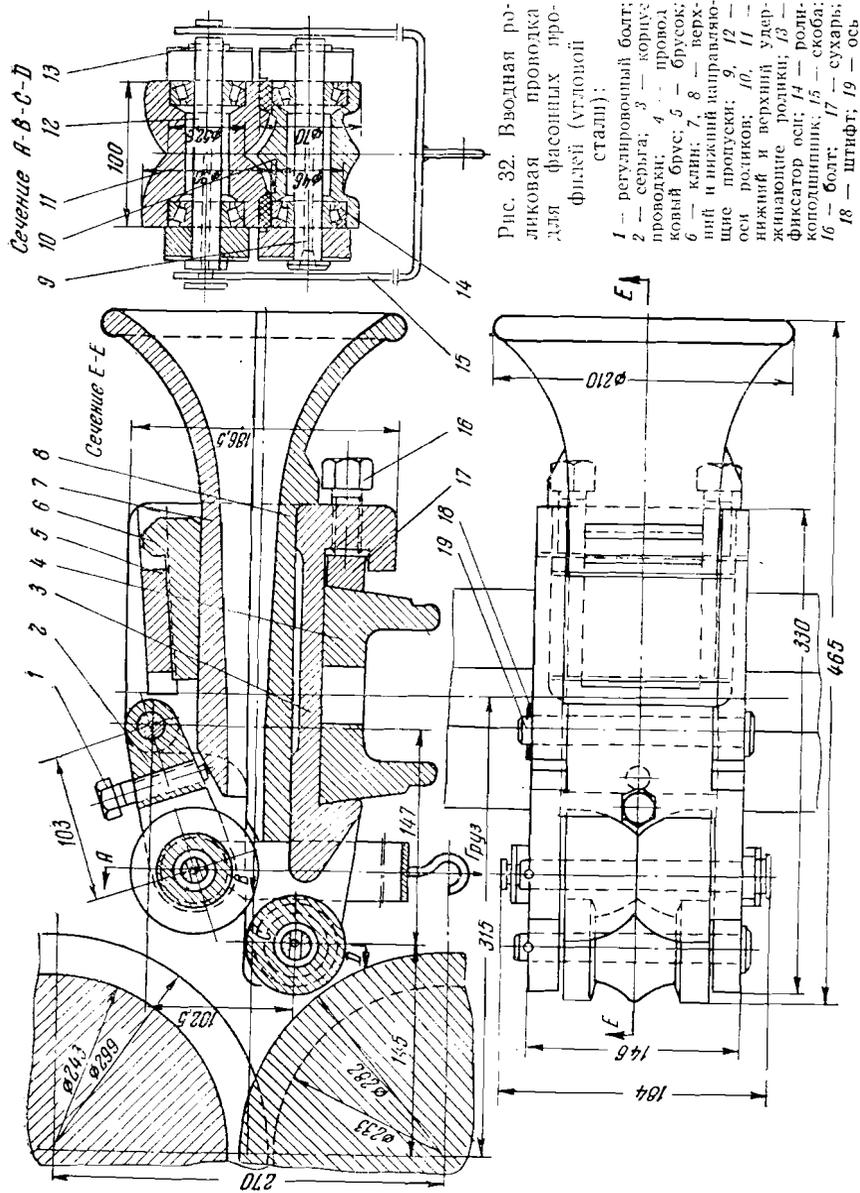
Ролики вращаются вокруг неподвижных осей 9 и 12 на конических роликоподшипниках № 7304. Смазка подшипников производится густым смазочным материалом, подводимым через сверления в осях роликов.

Материал роликов — сталь 30ХГСА с последующей закалкой до твердости поверхностного слоя 500—550 НВ.

Для обеспечения свободного входа раската направляющие имеют достаточно широкий растроб. Крепление направляющих в корпусе производится очень простым клиновым устройством: в пазах верхней части корпуса помещена поперечина 5, служащая опорой клина 6 и легко удаляемая при замене направляющих. Принятое клиновое крепление обеспечивает возможность быстрой сборки и разборки проводки, что очень важно для ее эксплуатации.

Принцип работы проводки и способ ее настройки состоят в следующем. Рабочие поверхности нижней направляющей 8 и верхнего ролика 11 образуют свободную щель, обеспечивая этим беспрепятственное продвижение задаваемого раската к нижнему ролику. Зазор между роликами (в проекции на вертикальную плоскость), устанавливаемый с помощью регулировочного болта 1, соответствует толщине задаваемой полосы и даже несколько меньше ее. Благодаря продольному смещению осей роликов это не создает затруднений для дальнейшего продвижения переднего конца раската даже при наличии на нем дефектов, так как полоса имеет возможность слегка изогнуться или (в зависимости от сечения полосы и величины груза) приподнять верхний ролик.

Ось проводки устанавливается несколько выше оси калибра



с таким расчетом, чтобы полоса отгибалась валками вниз и, опираясь на нижний ролик, заклинивалась в его боковых стенках (захват при этом не должен быть затруднен). Такая установка коробки обеспечивает надежное удерживание раската от боковых смещений в ходе прокатки.

Таким образом, в результате соответствующей настройки проводки при наличии относительного смещения роликов в горизонтальной плоскости достигается устойчивое положение полосы в ручье нижнего ролика и хорошая амортизация ударов полосы верхним качающимся роликом.

Точная установка коробки по калибру осуществляется в процессе настройки стана при помощи подвешенного проводкового бруса. Как уже отмечалось, применение такого бруса обеспечивает быструю и точную регулировку положения пропускной коробки при прокатке в одну нитку и вполне оправдало себя на практике.

В случае аварийной остановки полосы в валках конструкция коробки позволяет быстро и легко извлечь застрявшую полосу. Для этой цели достаточно снять груз, выбить удерживающий клин и убрать верхнюю направляющую, после чего полоса может быть свободно удалена из валков через коробку.

При выходе из строя в результате выработки или аварии коробка заменяется целнком в собранном виде.

Глава II

ВЫВОДНАЯ АРМАТУРА

7. Роликовые выводные проводки сортовых и проволочных станов

В крупных обжимных реверсивных станах, прокатывающих блюмы, слябы или броню, выход прокатываемого металла из валков происходит непосредственно на ролики рольганга. Во всех остальных случаях для отведения выходящего конца раската от поверхности валков применяются специальные приспособления, называемые выводной арматурой. Иногда, например, при прокатке с обводными аппаратами или в непрерывных станах проводки должны не только отвести раскат от валков, но и задать ему строго определенное направление, обеспечив прямолнейность переднего и заднего концов полосы.

Простейшим видом выводной арматуры являются проводки, используемые на тихоходных сортовых станах ручного обслуживания. На таких станах, как известно, применяются валки неравных диаметров (верхнее давление), благодаря чему выходящий конец полосы стремится изогнуться в одну сторону (на нижний валок) и вследствие этого может выводиться одной нижней проводкой. Проводка в этом случае помещается на дно калибра и действует как клин, отделяя защемленную калибром полосу и предотвращая оковывание нижнего валка. Неточность направления выхода полосы и возможность получения случайно загнутых концов при ручном обслуживании стана не имеют существенного значения и не вызывают серьезных неполадок в его работе.

В современных непрерывных станах, а также в линейных станах, оборудованных обводными аппаратами или специальными желобами манипуляторами, выводные проводки должны обеспечивать совершенно точный ввод раската в это оборудование. Полоса с загнутым передним концом может быть неправильно задана в валки или может выскочить из желоба. Кроме того, изогнутая полоса в большей степени подвержена продольному изгибу от напора задней части раската, что уменьшает ее способность к преодолению сопротивления вводных устройств

следующего прохода. По этой же причине, помимо обеспечения совершенно прямых передних концов, выводные проводки должны исключить возможность скручивания раската (в случае отсутствия кантовки) между проходами.

В настоящее время как у нас в Союзе, так и за рубежом некантованная роликовая выводная проводковая арматура применяется редко. Это объясняется, прежде всего, недооценкой эффективности замены неподвижных выводных элементов вращающимися роликами, а также тем, что до сих пор основное внимание уделялось кантовочным проводкам, надежная служба и стойкость которых в значительно большей степени обуславливает не только улучшение качества поверхности проката и повышение производительности, но в отдельных случаях и возможность нормальной работы стана.

В отличие от вводных проводок все известные конструкции выводных роликовых устройств не целиком обеспечивают замену трения скольжения трением качения. В начальный момент прокатки передний конец полосы снимается с валка носком (пером) проводки, выполняемой в виде обычной проводки скольжения. Затем по мере продвижения от валков раскат попадает на поверхность роликов, располагаемых несколько выше проводки, и отделяется от нее. В дальнейшем раскат соприкасается лишь с вращающимися роликами и совершенно не задевает неподвижной части проводки.

Пожалуй, наиболее простым примером такого способа отведения полосы от валков может служить роликовый проводковый брус, применяемый в сочетании как с обычными, так и с роликовыми выводными линейками.

Роликовый проводковый брус (рис. 7) представляет собой брус обычной конструкции, в продольном пазу которого расположен гладкий цилиндрический ролик. Поверхность ролика выступает на некоторую величину над рабочей поверхностью бруса. Длина ролика равна длине рабочей части бочки валков. Концы ролика помещены в роликовые подшипники, которые привариваются к брусу и служат опорами ролика.

Нижняя выводная проводка, являющаяся обычной проводкой скольжения, устанавливается, как обычно, носком в калибр, а затылочной частью непосредственно на проводковый брус. Установка проводки производится так, чтобы рабочая поверхность ее затылочной части располагалась приблизительно на 5 мм ниже уровня ролика (смысл этого ясен из вышесказанного). От боковых перемещений раскат может удерживаться роликовыми либо обычными выводными линейками. В случае необходимости между выводными линейками может быть также установлена верхняя выводная проводка обычного типа.

Проводковые брусья такой конструкции, нашедшие применение на некоторых заводах Союза, не только заметно улучшают качество проката, но и повышают производительность стана

как за счет увеличения выхода первых сортов, так и за счет существенного уменьшения простоев, связанных с заменой выводных проводок, срок службы которых в этом случае становится практически неограниченным.

Пример конструкции роликовых выводных линеек, используемых в сочетании с роликовым или обычным проводковым брусом, показан на рис. 33. Линейки установлены на сортовом стане 225 [18]. Крепление линеек на проводковом бруске осуществляется с помощью стяжных болтов. И отечественная, и американская практика [18] показала целесообразность применения

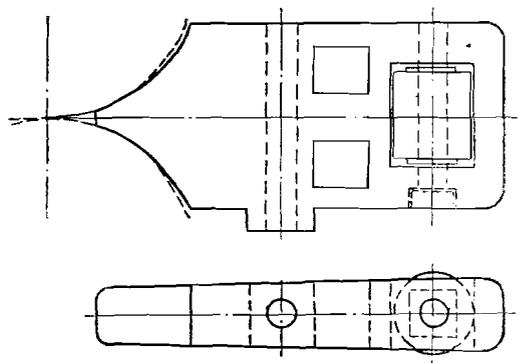


Рис. 33. Роликовая выводная линейка

таких линеек ввиду простоты их конструкции и надежности в эксплуатации.

Выводные роликовые линейки, монтируемые совместно с выводными проводками трения скольжения в специальной коробке, показаны на рис. 34. Выводная арматура такой конструкции хорошо зарекомендовала себя [39] при эксплуатации на чистовой и промежуточных клетях среднесортного стана 300 Магнитогорского металлургического комбината. Этот стан (типа кросс-контри) предназначен для прокатки мелких швеллеров, угловой, круглой, квадратной и полосовой стали. Он состоит из 10 клетей дуо; выходная скорость прокатки 9—11 м/сек.

Выводное устройство состоит из коробки 1, в которой размещены линейки 3 с роликами 4 на концах. Для большей жесткости щеки коробки стянуты сверху поперечной. В щеках коробки имеются отверстия 2 и 6, в которые вставляются стальные бруски, служащие опорами для пят верхней и нижней выводных проводок. Нижняя проводка свободно лежит на опорном бруске и валке, а уравнивание верхней проводки осуществляется с помощью подвешенного груза. Линейки 3, соединенные с корпусом посредством болтов 7, прижимаются к боковым стенкам плоскими пружинами 10. Вращением гайки болта 7 изменяется сила прижатия пружины и достигается требуемая жесткость

установки линеек. Регулировка расстояния между линейками осуществляется болтами 9 и 5. Для предупреждения смещения линеек выходящей полосой они закрепляются брусом 8, проходящим через отверстия в линейках и стенках коробки.

Высокая жесткость и прочность конструкции позволяют производить небольшое обжатие местных утолщений по длине раската. Как сообщается в литературе [39], благодаря контролю ширины передних концов полосы в роликах выводной арматуры

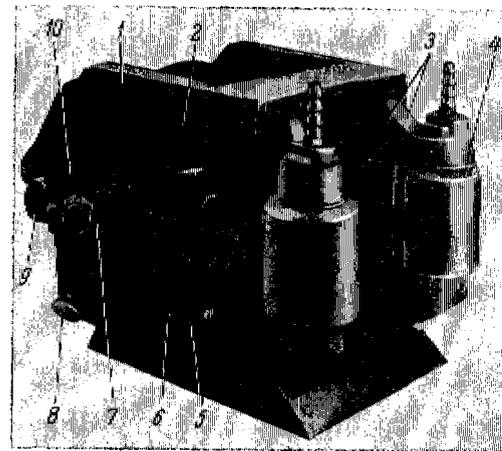


Рис. 34. Выводная арматура среднесортного стана 300:

1 — корпус; 2, 6 — отверстия для размещения опор проводок; 3 — роликовые линейки; 4 — ролик; 5, 9 — регулировочные болты; 7 — соединительный болт; 8 — брусок; 10 — плоская пружина

в сочетании с применением волновых роликовых проводок значительно уменьшилось число застреваний раската при прокатке.

При прокатке основной массы профилей в выводных устройствах чистовых групп клетей устанавливают гладкие цилиндрические ролики, которые монтируются на конических роликоподшипниках. Смазка подшипников производится синтетическим солидолом, периодически подаваемым через сверления в оси. Хорошие результаты также наблюдаются [39] при установке подшипников, изготовленных из высококачественного текстолита. Ролики обычно изготавливают из высоколегированной стали, а также из отбеленного или хромистого чугуна.

Более сложными по конструктивному выполнению сравнительно с роликовыми проводковыми брусками являются роликовые выводные проводки.

Роликовая проводка, предназначенная для вывода алюминевых полос овального сечения и с успехом применяемая на

одном из английских заводов, изображена на рис. 35 [20]. Скручивание полос, выводимых этой проводкой, не наблюдается.

Выводное устройство состоит из двух одинаковых проводок — верхней и нижней. В проводках, выполненных из стали, на самосмазывающихся жароупорных подшипниках¹ монтируются по три горизонтальных профилированных ролика. Проводки покоятся на деревянных брусках. Нижняя проводка лежит на брусках свободно, а верхняя удерживается в рабочем положении пружиной. Упругость деревянных брусков обеспечивает

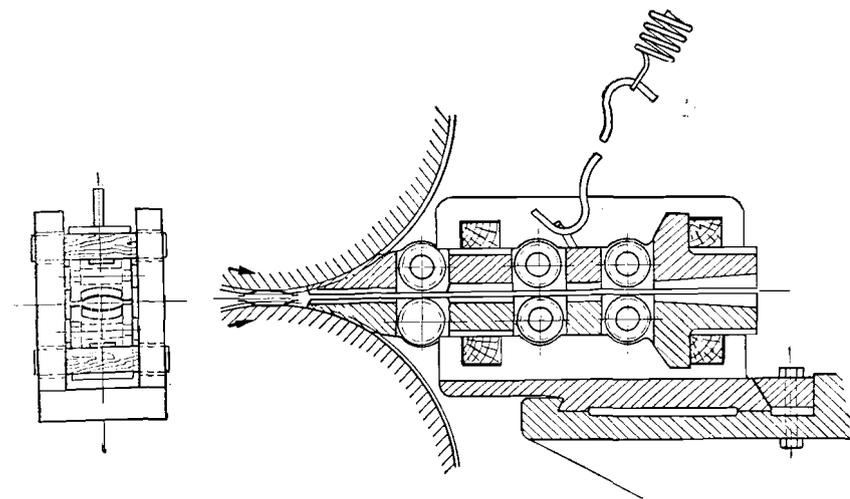


Рис. 35. Выводная роликовая проводка

значительное смягчение ударов выходящей полосы по проводке и сохранность слабых носков проводок. В случае «завязывания» полосы брусья выполняют роль предохранительных деталей, исключающих серьезное повреждение проводок.

Для облегчения вывода полосы из калибра и направления ее к роликам на входном конце проводки предусмотрен небольшой растроб. Форма канала, образуемого ручьями двух проводок, точно соответствует форме выводимого профиля, но делается несколько больших размеров, обеспечивая зазор, необходимый для избежания заклинивания полосы и выбивания проводок.

Аналогично роликовому проводковому брусу носок проводки работает лишь в момент входа раската в проводки. Как только

¹ Здесь, очевидно, имеются в виду металлокерамические подшипники, пористые втулки которых, пропитанные смазывающей составляющей, могут работать продолжительное время без пополнения смазки. (Машиностроение, Энциклопедический справочник, т. 2, разд. 1, ГОНТИ Машиностроительной литературы, 1948).

раскат попадает на первую пару роликов, он отделяется от проводки и удерживается только вращающимися роликами.

Для лучшего удержания полосы ролики установлены на сравнительно большом расстоянии друг от друга. С целью избежания соприкосновения раската с телом проводок, что имеет особое значение при прокатке такого мягкого и склонного к царапанию материала как алюминий, канал проводки после первой пары роликов делается намного полнее раската по всему периметру.

Износ роликов, по утверждению Ф. Старкея [20], очень незначителен.

Настройка роликовой проводки производится в проводочной мастерской по специальному темплету (эталону), после чего половинки проводок зажимаются деревянными брусками.

Как сообщает Ф. Старкей [20], проводки такой конструкции используются и при прокатке стали. По его мнению, их особенно выгодно применять там, где желательно избежать быстрой потери заданного положения полосы вследствие износа проводок трением скольжения. В качестве примера приводится задача раската на холодильник или к ножницам.

Функции выводной роликовой проводковой арматуры при прокатке мелких сечений иногда выполняют выводные трубки с роликовой головкой [19] (см. рис. 41). Роликовая головка в этом случае (при отсутствии кантовки выходящей полосы) устанавливается без перекоса. Так же, как и в предыдущих конструкциях, полоса в процессе прокатки соприкасается только с вращающимися роликами.

Поведение прокатываемой полосы при работе на современных прокатных станах, оборудованных подшипниками качения или жидкостного трения и универсальными шарнирными шпинделями, во многом отличается от прокатки на старых линейных станах. В частности, отсутствие радиальных биений и мгновенных торможений или остановок прокатных валков, вызываемых применением тrefефовых соединений и текстолитовых подшипников, почти полностью исключает загиб переднего конца раската на один из валков. Опыт работы на таких станах показывает, что при прокатке простых профилей в открытых симметричных калибрах случаи оковывания валков практически не наблюдаются. В связи с чем отпадает необходимость обязательного сгибания переднего конца полосы с валков носком проводки. К такому выводу почти одновременно пришли прокатчики Криворожского завода и Магнитогорского металлургического комбината [38]. Такого же мнения придерживаются и шведские специалисты [25]. Таким образом, в определенных условиях функции выводных устройств могут сводиться лишь к приданию правильного направления переднему концу раската, выходящего из валков. Практическая реализация этого положения воплотилась в использовании так называемых приемных воронок, успешно эк-

сплутуруемых в настоящее время [38] на среднесортном стане 300 Магнитогорского металлургического комбината.

Приемные воронки используются как в качестве самостоятельных выводных устройств, так и в сочетании с роликовой выводной арматурой (рис. 36). Использование [94] приемных воро-

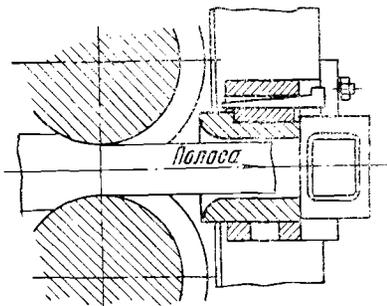


Рис. 36. Выводная роликовая арматура с приемной воронкой

нок значительно ускоряет смену валков и устраняет случаи выбивания проводок из-за износа носков или неправильной их установки.

Глава III

КАНТУЮЩАЯ АРМАТУРА

8. Роликовые кантующие проводки

Роль выводных кантующих устройств в обеспечении успешной работы стана чрезвычайно велика. Достаточно напомнить, что, помимо значительного влияния на качество поверхности раската, кантующие проводки являются определяющим фактором нормальной работы обводных аппаратов при петлевой прокатке и передающих желобов в непрерывных группах с горизонтальным расположением клетей.

До недавнего времени в качестве кантующих устройств почти повсеместно применялись обычные геликоидальные кантующие проводки трения скольжения. Однако при сравнительно больших нагрузках, возникающих при скручивании раската (особенно крупных сечений), и значительных относительных скоростях при прокатке мелких профилей проводки скольжения очень быстро срабатывались, портили поверхность проката и теряли способность управления полосой, что приводило к задержкам, неполадкам, получению брака, авариям и т. п.

Первые же конструкции роликовых кантующих проводок были лишены всех этих недостатков и завоевали себе признание, несмотря на понятную их несовершенство и относительно большие первоначальные затраты.

Выводная кантующая проводка должна, помимо функций обычной выводной проводки, обеспечить необходимую кантовку полосы. Для этой цели обычно применяются специальные кантующие ролики, осуществляющие заданную степень кантовки и конструктивно объединенные в одно целое с собственно выводной проводкой.

Весьма показательным в этом отношении примером является роликовая кантующая проводка, изображенная на рис. 37.

Как видно из рисунка, она представляет собой выводную роликовую проводку, приведенную на рис. 35, к выходной части которой добавлено специальное кантующее устройство. Это устройство (кантующая головка) состоит из цилиндрической, разнимающейся на две половины муфты, в которую вмонти-

рована пара кантующих роликов таких же, как и несущие ролики проводки. Кантующая головка вместе с кантующими роликами может поворачиваться на некоторый угол с помощью регулировочного болта. Два стопорных болта обеспечивают надежное закрепление ее в требуемом положении.

Это простое кантующее устройство с успехом применяется [20] на одном из английских прокатных станов при прокатке цветных металлов для кантовки самых мелких квадратных сечений. Использование этой проводки полностью исключило случаи застревания раската и получения брака по качеству

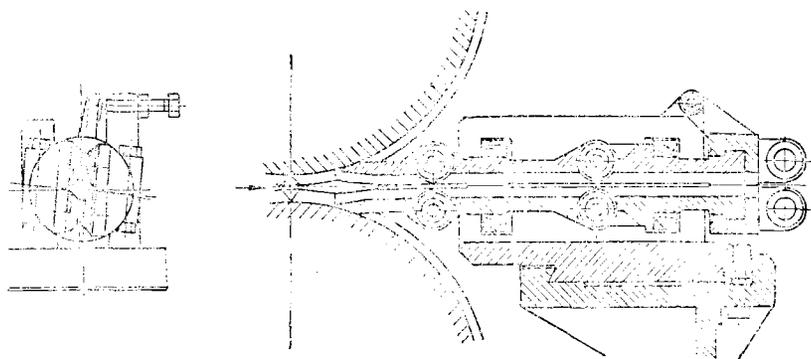


Рис. 37. Роликовая кантующая проводка

поверхности. Все же рассматриваемая конструкция не свободна от недостатков. Так, усилия кантовки в ней воспринимаются последней парой ведущих роликов, что значительно утяжеляет условия их службы и уменьшает стойкость проводки. Несмотря на то, что эта проводка применяется при прокатке мелких сечений из цветных металлов, указанную особенность ее конструкции следует считать существенным недостатком. Большинство других конструкций роликовых кантующих проводок не обладает этим отрицательным качеством.

Роликовая выводная кантующая проводка, предназначенная для кантовки прямоугольных сечений с максимальным размером $127 \times 63,5$ мм, показана на рис. 38. Она установлена между первой и второй клетями непрерывного сортового стана 250 [18]. Расстояние между клетями равно 3960 мм.

Гладкие цилиндрические ролики помещены в специальных проушинах на выходных концах обеих проводок. Рабочий канал проводок прямой, достаточно свободный, и кантовка раската целиком осуществляется кантующими роликами. Угол наклона роликов постоянный и не может изменяться во время прокатки. Регулировка угла кантовки производится сведением или разведением кантующих роликов с помощью установочных болтов или прокладок. Проводка собирается в специальной коробке, которая крепится на проводковом бруске. Ролики

на определенную величину выступают над рабочими поверхностями проводок. Это позволяет раскату после того, как передний конец его попадает в зев кантующих роликов, отделяться от рабочих поверхностей проводок. Таким образом, кантующие ролики не только кантуют раскат, но и задают ему определенное направление в вертикальной плоскости (от боковых перемещений полоса удерживается вертикальными стенками проводок).

Кантующая проводка такой конструкции, помимо простоты, имеет еще то преимущество, что крутящий момент, обусловленный перекосом (кантовкой) полосы кантующими роликами,

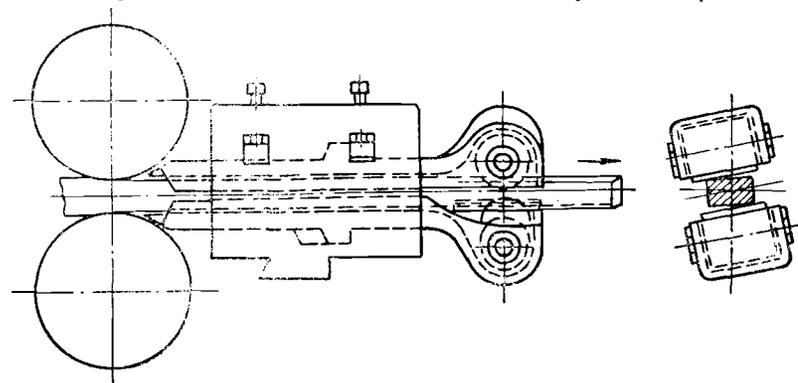


Рис. 38. Кантующая проводка для прямоугольных профилей

воспринимается непосредственно валками, а не более слабыми и менее стойкими деталями проводковой арматуры.

Роликовые кантующие проводки такого типа довольно широко освещены в иностранной литературе [1, 18, 27, 42 и др.]. Обычно ролики этих проводок выполняют в виде полых цилиндров, вращающихся на неподвижных осях. Поскольку от проводок подобного рода не требуется особой точности кантовки, ролики могут монтироваться на текстолитовых подшипниках, смазываемых водой, которая также охлаждает ролики. Простота и доступность креплений роликов позволяют легко заменять их прямо на стане.

Основным недостатком проводок рассмотренного типа является невозможность их быстрой и точной настройки. Поэтому такая конструкция была впоследствии несколько модернизирована. Кантующие ролики были отделены от тела проводки и помещены в специальный цилиндрический кожух, который мог поворачиваться относительно оси полосы при помощи специального механизма (обычно, червячной пары) [18, 27].

Помимо кантующих проводок с косо расположенными цилиндрическими роликами, известны конструкции с конически-

ми роликами, установленными вертикально или горизонтально. Пример такой проводки приведен на рис. 39.

Здесь кантующие ролики собраны в специальной коробке, которая крепится на проводковом брусе. Выводные проводки (верхняя и нижняя) помещаются носками в ручки валков, а пятнами на особые брусья, расположенные во входной части проводковой коробки. Каналы проводок выполнены таким образом, чтобы раскат, введенный в зев кантующих роликов, мог отделяться от неподвижных поверхностей проводок и свободно поступать в ролики непосредственно из валков, которые

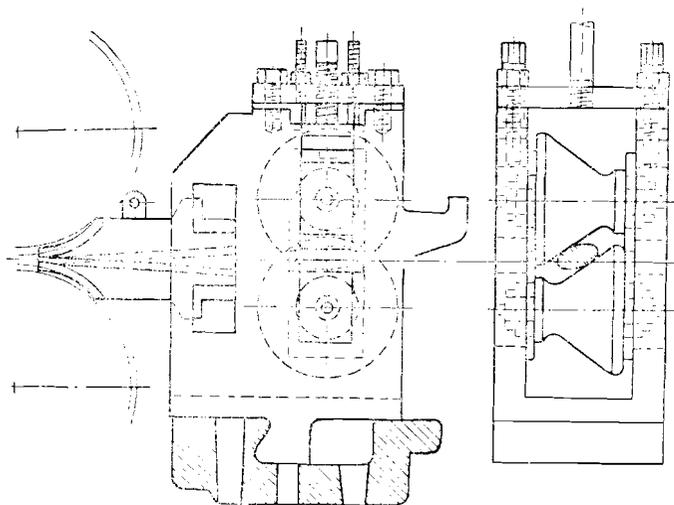


Рис. 39. Кантующая проводка с горизонтальными коническими роликами

в этом случае будут воспринимать усилия от скручивания раската.

Оси роликов вращаются в подшипниках, размещаемых в обоймах, которые вставлены в вертикальные окна проводковой коробки. При помощи регулировочных болтов расстояние между осями роликов может изменяться. Этим осуществляется настройка проводки по профилю, а также меняется степень кантовки.

Кантующая проводка установлена между третьей и четвертой клетями сортового стана 300 и предназначена для кантовки овала $66,7 \times 28,6$ мм перед задачей его в квадратный калибр.

На рис. 40 показана роликовая проводка, установленная между четвертой и пятой клетями того же стана. Она служит для кантовки полосовых профилей после ребрового пропуска перед задачей их плашмя. Эта оригинальная конструкция

представляет собой самые простые выводные роликовые линейки, в которых вместо гладких цилиндрических и профилированных удерживающих роликов установлены вертикальные кантующие ролики, имеющие форму усеченных конусов. Выводные проводки и в этом случае служат лишь для первоначального

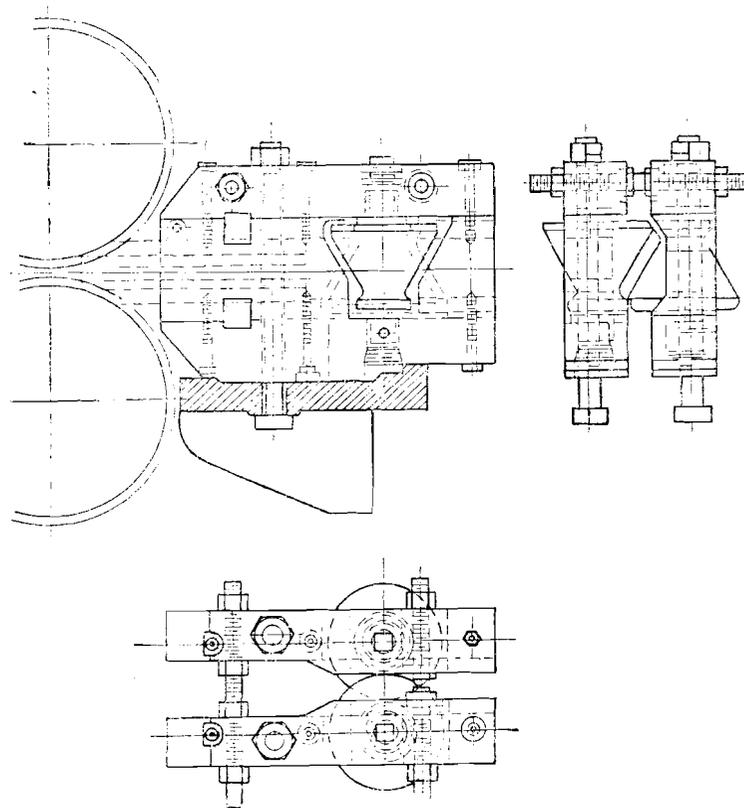


Рис. 40. Кантующая проводка с вертикально расположенными коническими роликами

снять переднего конца полосы с валков и направления его в зев кантующих роликов, после чего полоса соприкасается только с поверхностью вращающихся роликов. Регулировка проводки производится сближением или разведением линеек с роликами при помощи двух стяжных болтов, после чего линейки крепятся на проводковом брусе двумя болтами.

К группе роликовых кантующих проводок можно условно отнести кантующие устройства, известные под названием роликовых кантующих трубок. Описание одной из таких кон-

струкций впервые было приведено в отечественной литературе [19].

Описываемая кантующая трубка (рис. 41) применяется на мелкосортном стане завода «Днепроспецсталь» для кантовки мелких овальных сечений. Она отличается от обычных (не роликовых) кантующих трубок наличием кантующей головки 3, помещенной на выходном конце простой круглой трубы 5. Кантующая головка имеет возможность поворачиваться на требуемый угол и закрепляется в необходимом положении двумя стопорными болтами 4. Два профилированных или гладких кантующих ролика 1, установленных в кантующей головке, принимают передний конец раската, снимаемый с валков трубкой, и направляют его с требуемой степенью кантовки в нужном направлении. Эта простая конструкция успешно

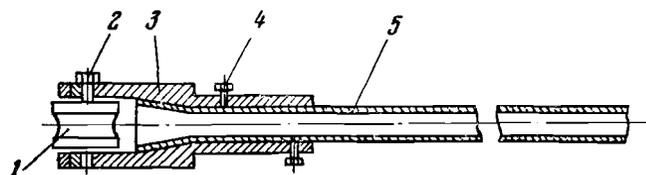


Рис. 41. Роликовая кантующая трубка:

1 — ролики; 2 — ось ролика; 3 — кантующая головка; 4 — стопорные болты; 5 — трубка

работает как при задаче мелких сечений вручную, так и при механизированной петлевой прокатке с обводными аппаратами.

Помимо кантующих трубок с регулируемыми (поворачиваемыми) роликовыми головками, известны конструкции со стационарным креплением кантующих роликов. В этом случае требуемый угол кантовки устанавливается поворотом самой трубки, круглый приемный конец которой одинаково хорошо прилегает к поверхности овального калибра при любом положении трубки.

Кантующие роликовые трубки зарекомендовали себя как исключительно простое и надежное кантующее приспособление при прокатке мелких сечений простой формы.

Кантующая проводка с фасонными роликами, оси которых наклонены к горизонту под углом 20° , изображена на рис. 42. Эта проводка установлена на черновой клети полунепрерывного мелкосортного стана 250 Магнитогорского металлургического комбината. Она состоит из корпуса 7, в котором крепятся геликоидальные кантующие проводки 13, 1 и поворотная втулка с кантующими роликами 10. Корпус проводки сверху прикрыт крышкой 4. Передняя часть крышки входит своими выступами в пазы в стенках корпуса, а задняя заводится под

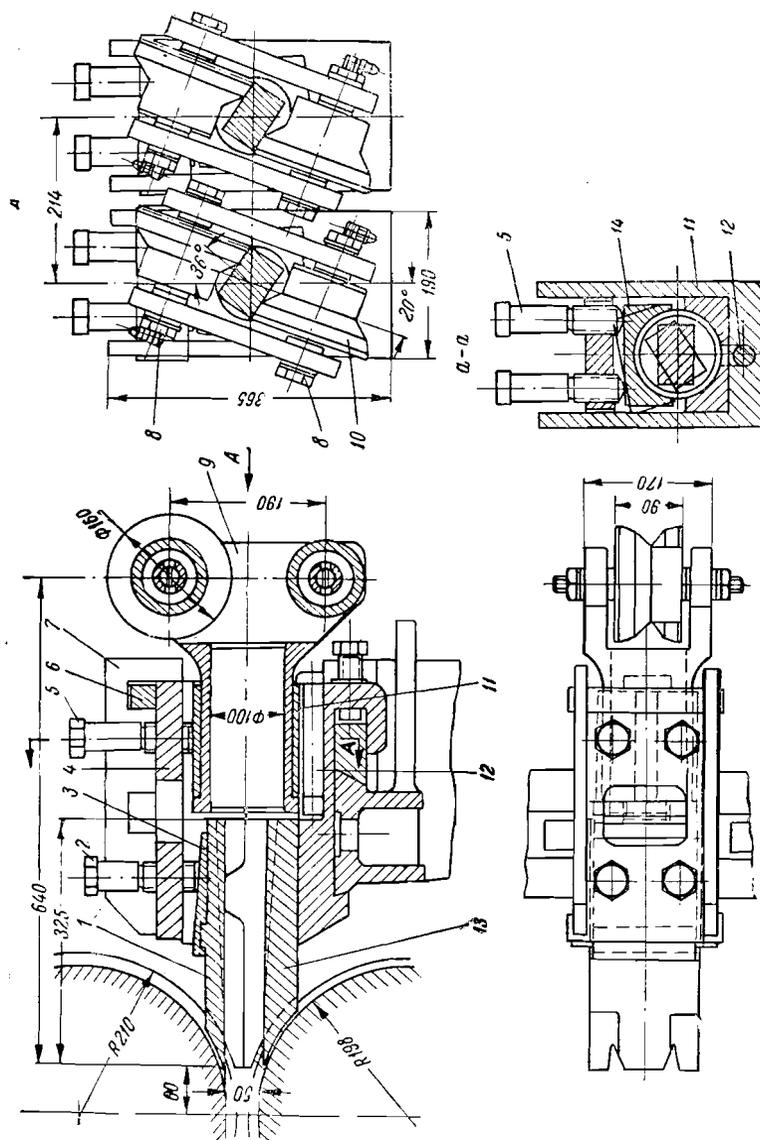


Рис. 42. Кантующая проводка полунепрерывного стана 250:

1, 13 — геликоидальные кантующие проводки; 2, 5 — стопорные болты; 3 — клин; 4 — крышка корпуса; 6 — опорный брусок; 7 — корпус; 8 — установочные болты; 9 — поворотная втулка; 10 — кантующие ролики; 11 — вкладыш; 12 — ступень

опорный брусок 6. Такое крепление крышки не дает ей подниматься вверх при ввинчивании стопорных болтов 2 и 5.

Нижняя 13 и верхняя 1 кантующие проводки размещены в передней части корпуса. Правильность взаимного расположения проводок обеспечивается шипом нижней проводки, входящим в канавку верхней проводки. Проводки прижимаются друг к другу и ко дну корпуса винтами 2, упирающимися в клин 3. зуб на наружной поверхности верхней проводки, входящий в поперечный паз клина, обеспечивает еще более плотное прижатие проводок при воздействии на них выходящей полосы.

В выходной части корпуса помещена поворотная втулка 9, в вилке которой установлены кантующие ролики 10. Втулка укладывается на вкладыш 11 и через приваренный к ней сухарь 14 зажимается стопорными болтами 5. От смещения вперед во время прохождения раската через ролики втулка удерживается кольцевым выступом, упирающимся в торец вкладыша 11, который в свою очередь удерживается стопором 12. Стопор, представляющий собой круглый прут с головками на концах, помещается в паз на дне корпуса. Стопорные болты 5 не только зажимают поворотную втулку в корпусе, но могут также поворачивать ее на небольшой угол.

Для уменьшения угла поворота втулки бочки роликов сделаны не гладкими, а фасонными. Ролики, вращающиеся на подшипниках качения, могут быть смещены один относительно другого путем вращения установочных болтов 8. Такая осевая регулировка положения роликов необходима для тонкой корректировки угла кантования раската. Подшипники роликов смазываются густой смазкой, подводимой шприцем через пресс-масленки. Конструкция предусматривает замену пресс-масленок штуцерами и подвод смазки от централизованной системы.

Характерная особенность последней конструкции (рис. 42), отличающая ее от остальных проводок, рассматриваемых в настоящем параграфе, состоит в том, что передний конец раската поступает в ролики предварительно скрученный в геликондальных проводках. Угол, на который он скручивается в проводках, подбирается несколько меньшим, чем это требуется для нормальной кантовки. Окончательная докантовка раската осуществляется кантующими роликами. Передний конец полосы, попадая в ролики проводки, доворачивается ими на небольшой угол, после чего остальная часть раската уже не соприкасается с кантующими поясками геликондальных проводок. Такой способ кантовки полосы обладает рядом преимуществ, о которых подробнее будет сказано в следующем разделе этой главы.

В заключение еще раз подчеркнем, что отличительной особенностью рассмотренной группы роликовой кантующей арма-

туры является совмещение функций выводных и кантующих устройств в одной конструкции. Кантовка осуществляется одной парой гладких либо профилированных кантующих роликов, располагаемых на выходном конце проводки. Снятие переднего конца полосы с валков и подведение его к кантующим роликам осуществляется (за исключением первого примера, рис. 37) при помощи обычных выводных устройств (проводок или трубок) трения скольжения, но как только полоса соприкоснется с кантующими роликами и начнет кантоваться, контакт ее с неподвижными частями проводки прерывается. Реактивный момент от скручивания раската воспринимается прокатными валками.

В отдельную группу должна быть выделена кантующая проводка с непрерывной роликовой цепью, которая представляет известный интерес с точки зрения конструктивного решения задачи.

Эта проводка сохраняет общие черты обычной геликондальной кантующей проводки, но большая часть кантующей рабочей поверхности в ней заменена рядом небольших роликов, расположенных недалеко друг от друга и соединенных между собой пластинчатыми звеньями в непрерывную цепь (аналогия с цепью Галля). Каждый ролик цепи свободно вращается на оси, закрепленной в проушинах наружных пластин. Ролики цепи катятся по направляющему желобу таким образом, что их огибающие образуют контур, похожий на рабочую поверхность геликондальных кантующих проводок. Во входной части проводки установлено натяжное устройство. Вводной конец проводки (носок) на расстоянии первых 150—200 мм выполнен в виде носка обычных проводок трения скольжения. Выходящая полоса снимается с валков этой частью проводки и передается на ролики цепи. Длина рабочей части желоба с роликами составляет примерно 760 мм. Полоса, попадая на ролики, начинает катить их по поверхности направляющего желоба проводки и вращать непрерывную цепь.

Проводка рассчитана на кантовку крупных прямоугольных заготовок до квадрата сечением 150 мм.

К сожалению, Ф. Гоффман, в статьях которого [1, 42] приводится очень краткое описание конструкции проводки с движущейся роликовой цепью, ничего не сообщает о работе и технико-экономических характеристиках этого устройства. Нет таких сведений и в статье Р. Вусатовского [43].

Таким образом, все соображения на этот счет могут быть сделаны лишь предположительно. Вместе с тем, некоторые авторы [44] отмечают, что многочисленные попытки устранить или ослабить трудности кантовки крупных сечений путем использования кантующих проводок, оборудованных движущимися роликовыми цепями, не дали удовлетворительных результатов.

9. Роликовые кантователи

В отличие от роликовых кантующих проводок, объединяющих в одно целое выводные проводки и кантующие приспособления, нами выделены в отдельную группу кантующих устройств так называемые роликовые кантователи, которые конструктивно не связаны с выводной проводковой арматурой. Они представляют собой устройство, не предназначенное для снятия раската с валков и крепящееся к станинам рабочей клетки или на специальных фундаментах между клетями.

Конструкции роликовых кантователей, применяемых в настоящее время, можно разделить на три вида.

Наиболее широкое распространение получили роликовые кантователи, в которых кантовка раската осуществляется с помощью двух конусных роликов. Самые простые конструкции таких кантователей отличаются от выводных кантующих проводок, изображенных на рис. 39 и 40, только тем, что они устанавливаются отдельно с выводными проводками. Конические ролики чаще всего выполняются как одно целое с осями, которые вращаются в системе роликоподшипников — цилиндрических (обычно легкой серии) и конических (тяжелой серии). Для обеспечения возможности прокатки сечений различных размеров, а также с целью регулировки степени кантования, расстояние между роликами может меняться специальным механизмом, причем каждой оси сообщается равное и противоположное перемещение для сохранения постоянного положения линии прокатки.

На рис. 43 показано такое кантующее устройство, смонтированное между двумя клетями черновой непрерывной группы сортового стана. Роликовые кантователи с горизонтальными роликами (по типу, изображенному на рис. 39) предназначены для кантовки овальных сечений до вертикального положения большой оси.

Применение в сочетании с роликовым кантователем обычных выводных проводок (особенно при прокатке крупных сечений) нежелательно по нескольким причинам. Во-первых, если применять выводные проводки, точно совпадающие по профилю с выводимым раскатом (для точного фиксирования положения полосы в желобе между клетями), то им придется воспринимать крутящий момент, сообщаемый раскату роликовым кантователем. Получающиеся при этом значительные срезающие усилия приводят к серьезным поверхностным дефектам, какие получаются при кантовке в обычных геликоидальных проводках. Помимо этого, интенсивный износ рабочих поверхностей таких проводок влечет за собой быструю потерю точной фиксации положения раската, и эффект применения роликового кантователя практически сводится на нет. С другой стороны, если бы выводные проводки открывались в сторону движения

полосы (как в роликовых выводных кантующих проводках) с тем, чтобы усилие кантования воспринималось прокатными валками, роликовый кантователь испытывал бы большие ударные нагрузки и быстро выходил из строя.

Удовлетворительные результаты были получены [20] сочетанием роликового кантователя с геликоидальными выводными кантующими проводками, предназначенными для сообщения раскату некоторой предварительной небольшой степени кантовки (рис. 43). Раскат, проходя через геликоидальную вывод-

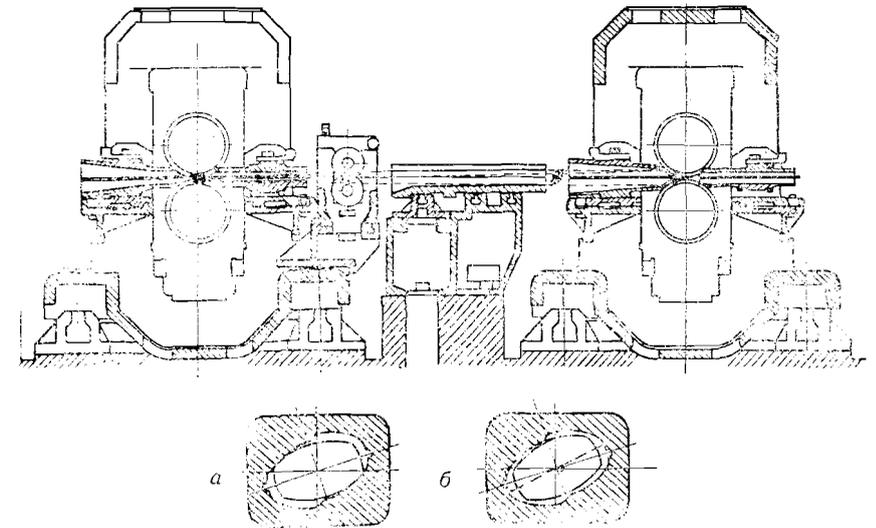


Рис. 43. Установка роликового кантователя между двумя клетями непрерывного стана

ную проводку, соприкасается с рабочими кантующими поверхностями, как это показано на рис. 43, а. Сопротивление материала скручиванию обуславливает плотный контакт раската с кантующими поверхностями и прямоосный выход полосы из проводки. Роликовый кантователь при этом регулируется так, чтобы сообщаемое им раскату положение (докантовка) обеспечило необходимые условия ввода в валки следующей клетки. Дополнительная кантовка раската в роликах кантователя скручивает его настолько, что он отделяется от кантующих поверхностей выводной проводки и, как показано на рис. 43, б, свободно выходит из валков, не касаясь тела проводки.

Таким образом, следы от скручивания раската в выводных проводках остаются только на переднем конце полосы, большая часть которого (или весь он) удаляется при последующей обрезке. Кроме того, первоначальное кантование в выводных проводках обеспечивает лучшее попадание переднего конца

раската в ролики кантователя, уменьшая удар о ролики и увеличивая срок их службы. Вследствие сокращения длительности контакта между полосой и проводкой износ ее проводящих поверхностей получается очень незначительным, и, поскольку окончательная кантовка осуществляется роликовым кантователем, проводки работают вполне удовлетворительно даже с заметно сработавшимися рабочими поверхностями. О необходимости замены проводок можно судить по плавности входа раската в ролики кантующего устройства.

В дополнение ко всему благодаря значительному удалению роликов кантователя от прокатных валков износ конических поверхностей роликов очень слабо влияет на степень кантовки раската. По некоторым данным [20], координированное сочетание роликового кантователя с геликоидальными выводными проводками представляет собой весьма экономичное кантующее устройство, устойчиво работающее длительное время без всяких неполадок и значительно сокращающее расход энергии на стане за счет почти полного исключения сопротивления трения скольжения при прохождении полосы через проводку.

Вторым примером кантователей с конусными роликами может служить конструкция, изображенная на рис. 44 (внизу, крупным планом, показан осевой разрез ролика и способ установки кантующих роликов на специальном проводковом брусе, который крепится к станине). Этот роликовый кантователь используется в английской практике для кантовки раскатов мелких сечений. В данном примере [20] он установлен у клетки, оборудованной с обеих сторон обводными аппаратами.

Овальное сечение, передаваемое в ребровом положении по обводному аппарату, расположенному с передней стороны клетки (направление движения раската отмечено стрелкой), подается к кантующим роликам улавливающей роликовой воронки. Далее раскат, скантованный роликовым кантователем, через направляющую воронку попадает во вводные пропуски трения скольжения. Овал задается плашмя в самоцентрирующий овальный калибр, поэтому пропуски служат лишь для точного подвода полосы к калибру.

На выходной стороне клетки установлена выводная роликовая проводка, описанная ранее (рис. 35). Она подает раскат ко второму роликовому кантователю такой же конструкции, который в этом случае кантует тонкое овальное сечение из положения плашмя на ребро, чтобы оно легко проходило по желобу обводного аппарата. Крутящий момент, создаваемый кантовкой, на этот раз гасится не валками, а последней парой роликов выводной проводки. Поскольку прокатывается алюминий, это не вызывает особенно быстрого износа проводок. Овал, скантованный роликовым кантователем, по выводной трубке с направляющими роликами на конце подается в желоб обводки,

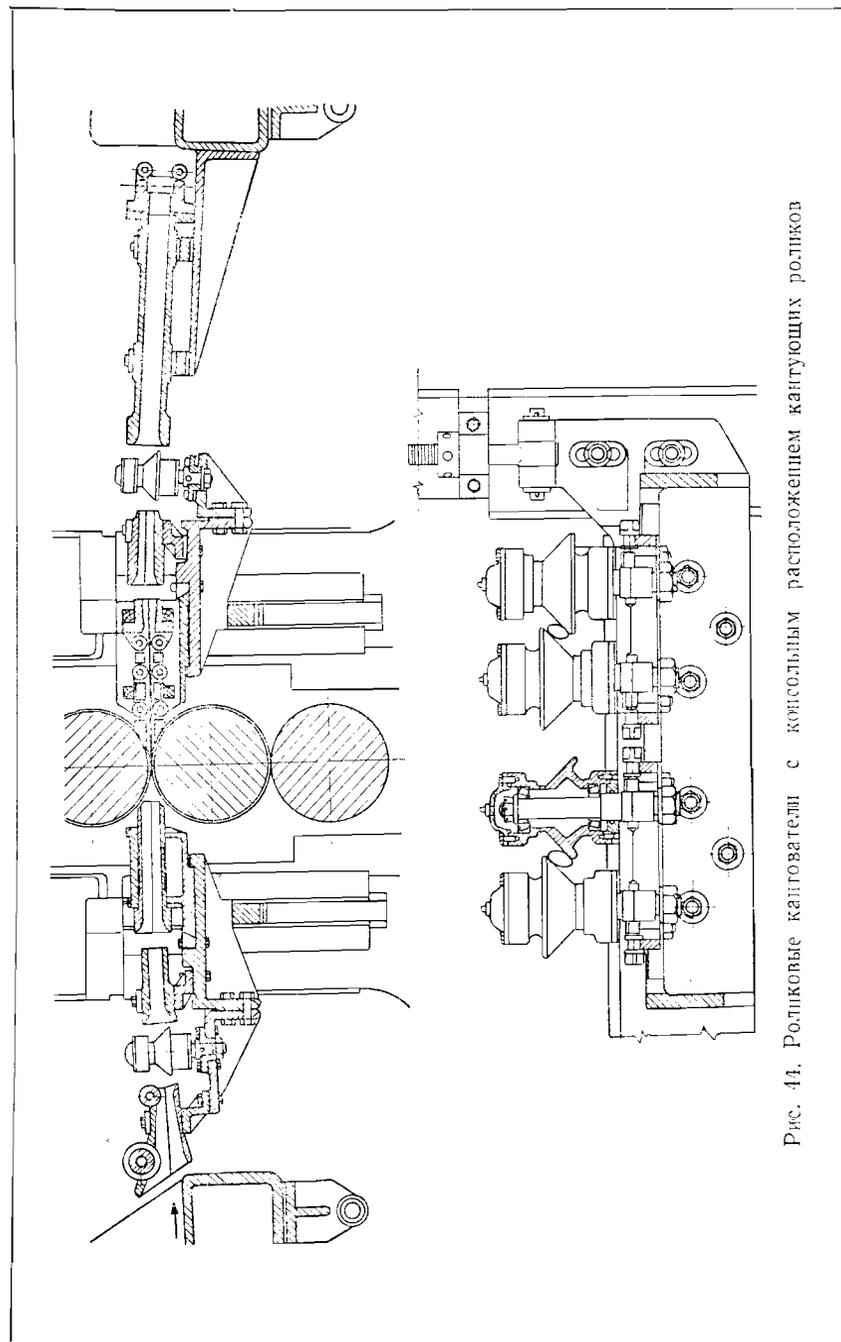


Рис. 44. Роликовые кантователи с консольным расположенным кантующим роликом

передающий его с верхнего горизонта в нижний горизонт следующей клетки.

Сравнительно небольшие нагрузки, возникающие при кантовке алюминиевых раскатов, допускают консольную установку кантующих роликов на закрепленных нижними концами осей. Такая открытая конструкция роликового кантователя позволяет легко удалить застрявшие узлы раската и свободно следить за работой устройства. Ролики для уменьшения инерции делаются пустотелыми. Положение роликов легко регулируется относительно друг друга и калибров на валах.

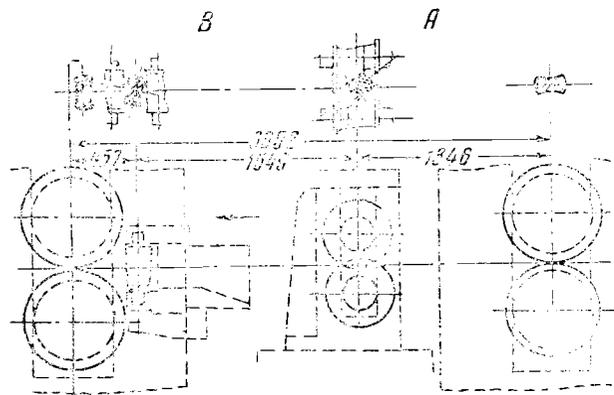


Рис. 45. Роликовый кантователь, применяемый для кантовки крупных сечений

Пример удачного использования кантователей с горизонтальными конусными роликами при прокатке крупных сечений приведен на рис. 45.

По литературным данным [18], этот кантователь (А) в сочетании с вводными роликовыми линиями (В) успешно применяется с 1938 г. для кантовки на 90° крупных прямоугольных сечений, прокатываемых в черновой непрерывной группе стана.

В период освоения было обнаружено, что установка работает удовлетворительно и обеспечивает заданную степень кантовки вполне устойчиво лишь до тех пор, пока задний конец полосы не покинет первую клетку. После этого конические ролики кантователя «докантовывают» уже скрученный задний конец раската. Участок полосы, свободный от воздействия валков первой клетки, получается при этом перекрученным. В какой-то мере подобным же образом перекручивают полосу и ролики вводных линеек. В дальнейшем путем последовательных приближений был подобран нужный угол наклона образующих роликов вводных линеек, а также были внесены коррективы в установку конусных роликов кантователя, после чего кантовка производилась вполне успешно по всей длине полосы.

Интересные наблюдения были проведены на непрерывно-заготовочном стане 762, обжимающем крупные блюмы до заготовок сечением 100 мм, а также производящем профили других размеров. Первоначально стан работал с кантовкой раскатов между горизонтальными клетями. Впоследствии он был подвергнут реконструкции с заменой его планировки на переменное горизонтально-вертикальное расположение клетей. После реконструкции расход энергии при прокатке уменьшился на 27%. Эта дополнительная мощность, расходованная сверх необходимой для преодоления момента прокатки, должна

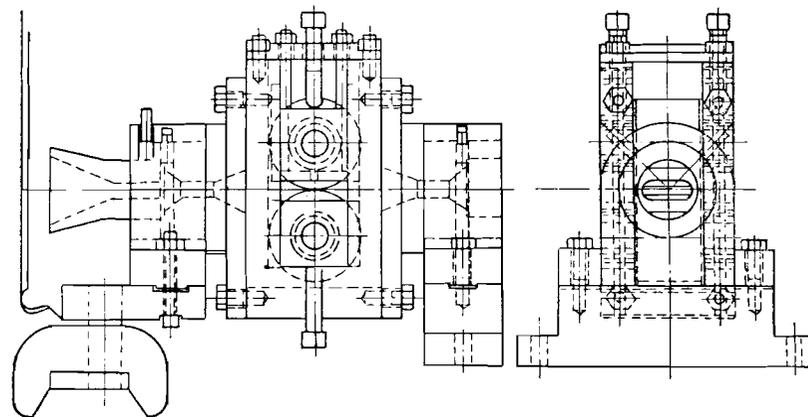


Рис. 46. Роликовый кантователь с гладкими цилиндрическими роликами

быть отнесена в большей своей части на кантовку раската между клетями¹.

В роликовых кантователях второго вида для кантовки раскатов используются гладкие цилиндрические ролики, установленные под некоторым углом к плоскости прокатки. Как правило, положение кантующих роликов может регулироваться при помощи специальных приспособлений или механизмов (чаще всего при помощи червячной передачи). Требуемый угол кантования достигается поворотом осей роликов на соответствующую величину. Роликовые кантователи этого типа используются для кантовки прямоугольных, овальных, ромбических, квадратных и других сечений самой разнообразной конфигурации. Применяются они как на непрерывных станах, так и на станах иного расположения.

На рис. 46 представлен эскиз роликового кантователя этого

¹ По имеющимся данным [44], преодоление сил трения скольжения при передаче полосы без смазки по кантующим проводкам вызывает дополнительный расход энергии, составляющий 15—25% общего расхода энергии при прокатке на непрерывно-заготовочном стане. С. В. Меркин [46] приводит более низкие цифры 10—15%.

типа, который установлен на американском линейном стане 225, оборудованном обводными аппаратами. Кантователь расположен на выходной стороне девятой клетки перед обводным аппаратом. Он представляет собой совершенно самостоятельный механизм и не связан ни с проводковой арматурой рабочей клетки, ни с обводкой. С его помощью осуществляется кантовка полос овального, ромбического и шестигранного сечений для передачи их по обводке в десятую клетку.

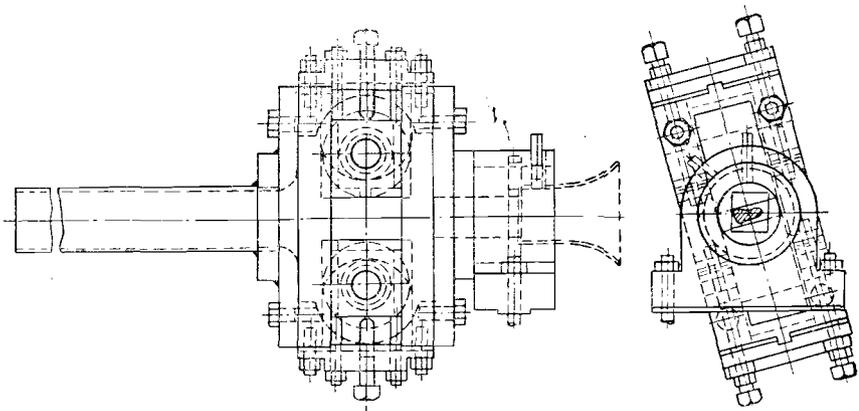


Рис. 47. Роликовый кантователь, применяемый при прокатке сечений асимметричной формы

Полоса, поступающая из выводной проводки девятой клетки, попадает в приемную воронку кантователя, кантуется в роликах на необходимый угол и по направляющей трубке передается в обводку. Угол кантовки регулируется поворотом коробки, в которой собраны кантующие ролики. Образование царапин и отпечатков на поверхности проката не наблюдается, так как для кантовки требуется очень небольшое давление роликов на раскат. По мнению Ц. С. Ламберта [18], этот роликовый кантователь является одним из наиболее удачных устройств такого типа.

Роликовый кантователь аналогичной конструкции установлен на выходной стороне седьмой и чистой клеткой сортового стана 300 типа кросс-коунтри. Как и в предыдущей конструкции, ролики кантователя могут поворачиваться. Максимальный угол поворота роликов равен 180° (при этом они занимают вертикальное положение). Кантователь используется в основном при прокатке сечений асимметричной формы с обратной своему назначению целью, а именно: для предотвращения скручивания выходящей из валков полосы. Рис. 47 иллюстрирует работу этого кантователя в случае удерживания сечений сложной конфигурации в требуемом положении.

Особую группу роликовых кантователей рассматриваемого вида составляют так называемые роликовые декантователи или выпрямители специально приспособленные предотвращать скручивание полос. Они устанавливаются за чистой клеткой стана и предназначаются для предохранения выходящей из стана полосы от скручивания.

Во многих случаях требуется очень небольшой крутящий момент, чтобы выправить выходящую полосу, скручиваемую валками, и это с успехом может быть достигнуто применением декантователя. Так, например, выпрямители при прокатке квадратов полностью устраняют задержки, связанные со скручиванием полос, подаваемых на холодильник.

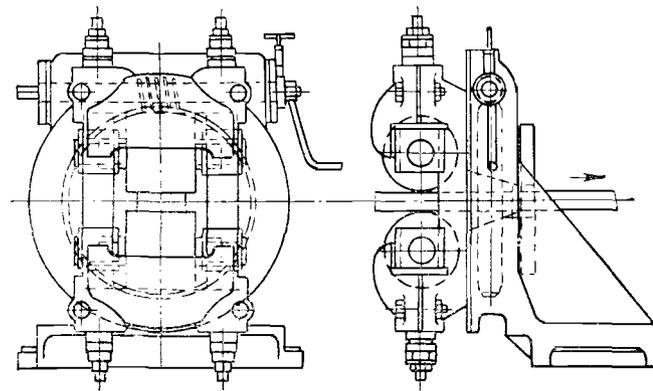


Рис. 48. Роликовый декантователь, или выпрямитель

На рис. 48 показан такой роликовый выпрямитель, установленный на сортовом стане 250.

Использование для целей декантовки выводных роликовых проводок, по мнению некоторых авторов [17], нецелесообразно. Назначение проводки — направлять полосу, а не устранять дефекты, вносимые станом. Проводка является весьма хрупкой конструкцией по сравнению с самим станом, и при увеличении воспринимаемой ею нагрузки срок ее службы значительно сокращается, что нельзя считать экономически выгодным.

Третий вид роликовых кантователей характеризуется использованием для кантовки раската роликов с фасонными ручьями. Обычно эти кантователи по конструкции не отличаются от кантователей предыдущего вида, т. е. положение кантующих роликов относительно оси прокатки у них может регулироваться. Иногда встречаются кантователи, у которых ролики имеют косо врезанные ручьи и не могут поворачиваться относительно оси прокатки. Одной из разновидностей таких кантователей могут считаться кантующие валки, описываемые ниже.

В заключение отметим, что основное преимущество роликовых кантователей заключается в том, что они являются самостоятельными механизмами, непосредственно не связанными с прокатным станом. Это позволяет при конструировании их, в отличие от остального проводкового оборудования, более свободно, а следовательно, и целесообразней выбирать основные размеры самого кантователя и его деталей. Так, размеры роликов кантователя ни в какой мере не зависят от диаметра прокатных валков, а устанавливаются исходя из соображений прочности, размеров прокатываемого сечения и назначения кантователя. Аналогично обстоит дело и с выбором такой ответственной детали роликовой арматуры, как подшипники. У роликовых кантователей тип и размеры подшипника определяются только величинами нагрузок, скоростей и долговечностью его работы, а совсем не ограниченностью габаритов, как это имеет место при конструировании другой роликовой арматуры. Кроме того, подшипники кантователя, ввиду наличия свободного места, могут быть надежно защищены от отрицательного воздействия высоких температур, окисления и воды. В силу этого весь кантователь в целом, как правило, является достаточно прочным и надежно работающим механизмом, срок службы которого значительно превышает стойкость остальной роликовой арматуры.

10. Кантующие валки и ролики непрерывных станов

Особую группу роликовой проводковой арматуры представляют так называемые кантующие валки и кантующие ролики. Они нашли применение в качестве кантующих устройств на непрерывно-заготовочных станах, а также на клетях черновых групп непрерывных сортовых и проволочных станов и в некоторых других случаях.

Первые сообщения о применении кантующих валков появились в иностранной литературе [1, 9, 42]. Из приводимого схематического изображения кантующих валков и общего их описания следует, что такие валки выполнены в виде двух горизонтально расположенных фасонных роликов, длина рабочей части которых обычно равна длине бочки прокатных валков. В этом случае одна пара кантующих валков обеспечивает кантовку раскатов, выходящих из любого калибра прокатных валков. Иногда, если кантующими валками обслуживается только одна группа калибров, длина их соответственно может быть сделана короче.

Операция кантовки осуществляется следующим образом. Передний конец полосы, выходя из валков рабочей клетки, попадает в калибр кантующих валков (кантующий калибр). Проходя через него, полоса закручивается на угол, соответствующий углу наклона кантующего калибра, и одновременно вра-

щает кантующие валки. Усилие кантовки создается за счет резерва сил трения в очаге деформации. Угол кантовки раската может регулироваться сближением или разведением кантующих валков, либо перемещением их в осевом направлении.

Указывается [1], что основным преимуществом кантующих валков в сравнении с другими видами арматуры качества является возможность установки подшипников любого типа и размеров. Помимо этого, подшипники выносятся из зоны высоких температур и легко защищаются от действия окисления и воды.

В 1954 г. была опубликована информация о применении кантующих валков на отечественных прокатных станах [47]. Автор предложения С. В. Мерекин в этой информации сообщил о конструкции и основных достоинствах кантующих валков, установленных на непрерывно-заготовочных станах ММК. В следующем году в журнале «Сталь» группой работников комбината была опубликована статья о результатах использования этих кантующих валков на практике [44]. В ней, помимо описания конструкции валков, их калибровки и некоторых эксплуатационных данных, приводятся интересные сравнительные показатели работы непрерывно-заготовочных станов с геликоидальными кантующими проводками и с кантующими валками системы С. В. Мерекина. Некоторые данные о работе кантующих валков были также приведены в выступлении С. В. Мерекина на Всесоюзном совещании прокатчиков в г. Магнитогорске в 1955 г. [46]. Вслед за этим в периодической литературе появился ряд статей [11, 15, 16 и др.], освещающих опыт использования кантующих валков на отечественных и зарубежных [48, 49] заводах.

На рис. 49 приведен эскиз рабочей клетки 1 стана, оборудованной кантующими валками 10. Диаметр кантующих валков близок к диаметру прокатных валков 2. Расположение и число кантующих калибров соответствует прокатным валкам. Подшипники кантующих валков — текстолитовые вкладыши, помещенные в подушки 6, 9 из литой стали, уравниваются с помощью пружин 8. Подушки подшипников установлены в специальных рамах, приклепываемых непосредственно к станинам рабочей клетки на приваренных приливах 3 и 12.

Для направления заготовки в калибр кантующих валков и во избежание оковывания валка рабочей клетки между прокатными и кантующими валками устанавливается специальная воронка-желоб 13, один конец которой закреплен на раме кантующих валков, а другой (носик) входит в зев рабочих валков. Размеры воронки выбираются в зависимости от размеров и угла скручивания кантуемого раската с учетом свободного прохода полосы через воронку.

Форма кантующего калибра соответствует форме поперечного сечения кантуемой заготовки (рис. 50). Скручивание по-

лосы при прохождении ее через калибр производится сравнительно узкими рабочими поясками. Устранение нежелательного обжатия заготовки кантующими валками, которое может иметь место при увеличении размеров выходящего сечения, достигается специальными клиновыми углублениями ручьев калибров (рис. 50).

Расстояние между осями прокатных и кантующих валков выбирается в зависимости от величины угла наклона кантующего калибра. Для обеспечения плавного входа полосы в калибр кан-

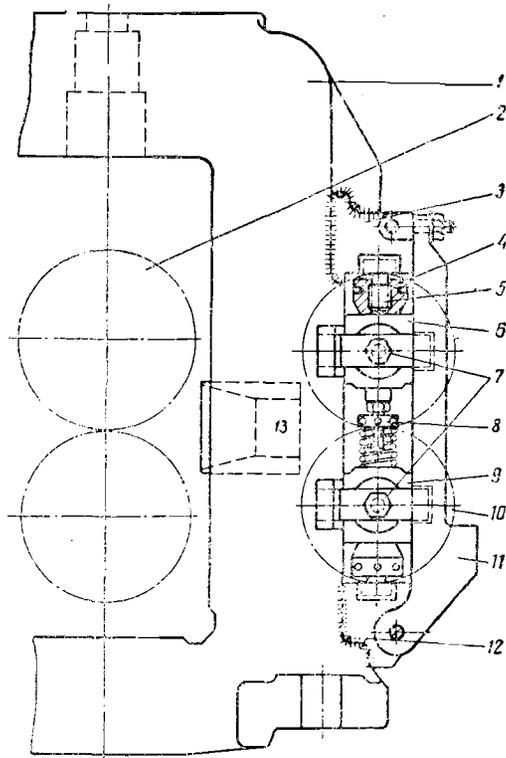


Рис. 49. Рабочая клетка, оборудованная кантующими валками:

1 — рабочая клетка; 2 — прокатные валки; 3, 12 — приливы; 4, 5 — гайка и винт нажимного устройства; 6, 9 — подушки кантующих устройств; 7 — устройство для осевого перемещения кантующих валков; 8 — пружинное уравновешивающее устройство; 10 — кантующие валки; 11 — откидная планка; 13 — воронка

тующего валка и наименьшей разности скоростей по ширине рабочего пояска угол наклона калибра не должен превышать 18—20°. Это способствует уменьшению износа пояска и увеличению срока службы кантующего калибра.

Опыт эксплуатации кантующих валков на ММК [44] показал следующие их преимущества перед обычными геликоидальными проводками, применяющимися ранее.

Настройка кантующих валков весьма проста и может производиться во время работы стана. Регулировка угла кантовки

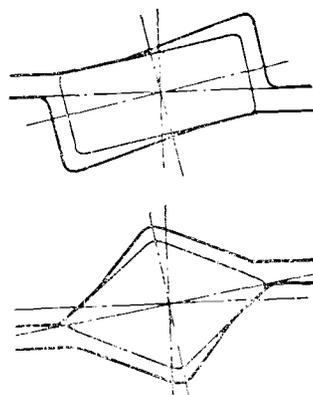


Рис. 50. Калибры кантующих валков

раската легко осуществляется путем изменения расстояния между кантующими валками или смещением одного из них в осевом направлении.

Стойкость кантующих валков в 100—150 раз выше стойкости геликоидальных проводок. Срок их службы при непрерывной работе составляет от 4 до 14 мес., причем за это время возникает необходимость лишь в периодической (2—3 раза) подчистке наждаком рабочих поясков калибров по месту установки валков. В связи с высокой стойкостью стоимость эксплуатации кантующих валков во много раз меньше, чем геликоидальных проводок.

Применение кантующих валков полностью устранило возникновение поверхностных дефектов по вине кантующих устройств и ускорило перевалки, так как кантующие валки, в отличие от проводок, не мешают перевалке валков рабочих клетей.

Использование кантующих валков предоставляет широкое поле деятельности при выборе калибровки. Возможность осуществления устойчивой кантовки на любой заданный угол, в том числе и на 45°, позволяет переходить в последних клетях на прокатку по системе ромб—квадрат с соответствующим улучшением качества получаемого профиля.

Высокие технико-экономические показатели работы кантующих валков обеспечили быстрое замещение опыта Магнитогорского металлургического комбината и широкое использование его на других отечественных и зарубежных заводах. В настоящее время почти все непрерывно-заготовочные станы Советского Союза оснащены кантующими валками.

Кантующие ролики представляют собой разновидность кантующих валков и отличаются от них в основном более мелкими размерами, поэтому принятое разделение следует понимать условно. Они применяются в качестве кантующей арматуры черновых клетей непрерывных сортовых и некоторых проволочных станов для кантовки простых сечений (прямоугольных, квадратных, овальных, ромбических и т. п.).

На рис. 57, помещенном в следующей главе, изображен общий вид установки кантующих роликов, эксплуатируемых на черновых клетях мелкосортных непрерывных станов 250 Криворожского металлургического завода. В этой же главе приведено описание конструкции кантующих роликов, из которого вытекает, что они в принципе не отличаются от кантующих валков, рассмотренных выше. Кантующие ролики аналогичной конструкции установлены на первой, второй и третьей клетях черновой группы непрерывного стана 300 Челябинского металлургического завода и на некоторых других станах нашей страны. Наряду с ними имеются еще станы, на которых кантующие ролики не применяются.

Кантующие ролики обладают сравнительно большой массой,

уменьшить которую вследствие значительных нагрузок, возникающих при кантовании раската, оказывается затруднительным. Это и некоторые другие обстоятельства ограничивают область использования кантующих роликов и применять их для кантовки мелких сечений (меньше 30×70 мм) нецелесообразно.

Для уменьшения инерции кантующих роликов предпринимались попытки заменить сплошные массивные ролики пустотелыми или использовать для кантовки мелких сечений кантующие диски, устанавливаемые против рабочих калибров на общем валу. Насколько известно, удовлетворительные практические результаты в этой области получены не были.

Интересно, что в ФРГ примерно для этих же целей были использованы ролики, на буртах которых устанавливались небольшие лопасти (подобные лопастям турбинного колеса). На эти лопасти направлялась струя воды, которая вращала ролики во время пауз между проходами. По сведениям Кумера [98], такое устройство уже несколько лет используется на одном из станов для кантовки полос.

Простота конструкции и высокие эксплуатационные качества кантующих валков и роликов позволяют рекомендовать их к широкому внедрению на заготовочных, сортовых и некоторых проволочных непрерывных станах в качестве наиболее удачной современной конструкции проводковой арматуры.

Глава IV

ПРОВОДКОВАЯ АРМАТУРА СОВРЕМЕННОГО ПРОКАТНОГО ЦЕХА

11. Технологический процесс и краткая характеристика основного оборудования цеха

Сортопрокатный цех Криворожского металлургического завода вступил в строй в последнем десятилетии. Он представляет собой крупный, вполне современный, высокопроизводительный прокатный цех, оснащенный новейшим технологическим оборудованием. Именно по этим причинам он взят в качестве примера в данной работе.

В состав цеха входят непрерывные мелкосортные станы 250 и проволочные станы 250.

Все прокатные станы цеха работают на квадратной заготовке, поступающей из обжимно-заготовочного цеха завода. Мелкосортные станы при прокатке кругов диаметром 10 мм, арматурной стали № 10, а также угловых профилей 20×20 ; 25×25 ; 28×28 ; 20×32 используют в качестве исходной заготовки квадрат 60 мм длиной 12 м. При прокатке остальной части сортамента (круглых профилей диаметром от 12 до 24 мм, арматурной стали № 12—22 и угловых профилей 32×32 ; 36×36 ; 40×40 ; 28×45) станы работают на заготовке квадрат 80 мм также 12-м длины. В зависимости от профиля прокатываются стали марок МСт.0—7, КСт.0—6, а также 25Г2С и 35ГС.

Проволочные станы, сортамент которых состоит из катанки диаметром 6,5 и 8 мм, сматываемой в бунты, работают на 12-м заготовке — квадрат 60 мм. На станах прокатываются стали МСт.0, МСт.2, МСт.3, КСт.0, КСт.2, КСт.3, СВ-08, СВ-1,0, 0,8 кл; телеграфная.

На рис. 51 приведена схема расположения и в табл. 2 техническая характеристика мелкосортного стана 250. Стан состоит из 23 клетей дуо, расположенных в трех непрерывных группах. После черновой группы, прокатка в которой ведется в две нитки, расположены две параллельных чистовых группы. В них прокатка ведется в одну нитку. Число проходов зависит от прокатыва-

Таблица 2

Характеристика рабочих клеток мелкосортного стана 250

№ клетки	Рабочие валки					Приводные двигатели	
	диаметры, мм		длина бочки мм	число оборотов в минуту		мощность кат	число оборотов в минуту
	макс.	мин.		мин.	мин.		
Черновая группа							
I	380	335	700	33,3	11,1	75	300/900
II	380	335	700	41,9	14,9	430	320/900
III	380	335	700	59,1	20,6	580	320/900
IV	380	335	700	61,8	29,1	580	320/900
V	380	335	700	106,7	42,7	680	320/900
VI	380	335	700	133,3	53,8	870	320/800
VII	380	335	700	177,8	71,1	870	320/800
Чистовая группа (правая и левая)							
VIII	325	295	400	800	100	2×200	500/1500
IX	335	295	600	409	145,5	480	320/900
X	325	295	400	450	150	2×200	500/1500
XI	335	295	600	514,8	182,9	580	300/900
XII	325	295	400	652,2	217,4	2×200	500/1500
XIII	280	255	500	900	300	580	300/900
XIV	320	295	400	937,5	312,5	2×200	500/1500
XV	280	255	500	1170	390	580	300/900

емого профилеразмера и равно 11—15. Нагрев заготовок осуществляется в методической нагревательной печи производительностью 100—120 т/ч.

Чистовые группы состоят из четырех клеток с вертикальным расположением валков и чередующихся с ними четырех клеток с горизонтальными рабочими валками. Каждая клетка стана имеет индивидуальный привод от электродвигателя постоянного тока. Вертикальные клетки (VIII, X, XII, XIV) приводятся от двух электродвигателей, работающих на один редуктор и расположенных сверху клетки. Индивидуальный привод клетки позволяет вести прокатку с минимальным натяжением полосы между клетями.

Рабочие валки, изготавливаемые из низколегированного или отбеленного чугуна, вращаются в подшипниках качения, обеспечивающих высокую точность установки валков и стабильность настройки стана.

После прокатки на стане полосы поступают на реечный двусторонний холодильник длиной 125 м.

На рис. 52 изображена схема калибровки валков сортового стана. Из схемы видно, что при прокатке круглой и арматурной стали используется калибровка по схеме овал — ребровой овал.

Такая система калибровки обеспечивает лучшее качество поверхности проката, уменьшает количество поверхностных дефектов и интенсивность падения температуры раската при прокатке. Обычно такая калибровка применяется при прокатке высококачественных, малопластичных сталей, так как предполагается, что она не в состоянии обеспечить достаточно высоких вытяжек. Между тем, как показывает опыт Криво-рожекского металлургического завода, средние вытяжки (по чистой группе) при прокатке круглой стали диаметром 10—20 мм колеблются в пределах 1,2÷1,3 и незначительно отличаются от средних вытяжек чистовых групп непрерывных станов, у которых калибровка выполнена по системе овал — квадрат.

Профиль ребровых калибров очерчивается одним радиусом, однако отношение ширины к высоте у них значительно превосходит это отношение у обычных овалов. В рассматриваемых калибровках оно равно 0,775 у трех последних (по ходу прокатки) овалов, не считая предчистовых. По мере удаления от чистовой клетки это отношение увеличивается, достигая 0,85 в первом ребровом калибре. Предчистовые овальные калибры, размещаемые на валках вертикальных клеток, как и на большинстве станов, конструируются более плоскими. Отношение меньшей оси профиля такого калибра к большей составляет 0,47 при прокатке круга диаметром 10 мм. С увеличением диаметра прокатываемого круга или номера арматурного профиля отношение увеличивается до 0,58 у калибров для кругов диаметром 22 ÷ 24 мм.

В принятых на стане калибровках большинство схем прокатки осуществляется с использованием одних и тех же калибров. Так, например ребровой овальный калибр XIII клетки при прокатке круга диаметром 12 мм или арматурного профиля № 12 нарезается на валках XI клетки для прокатки круга диаметром

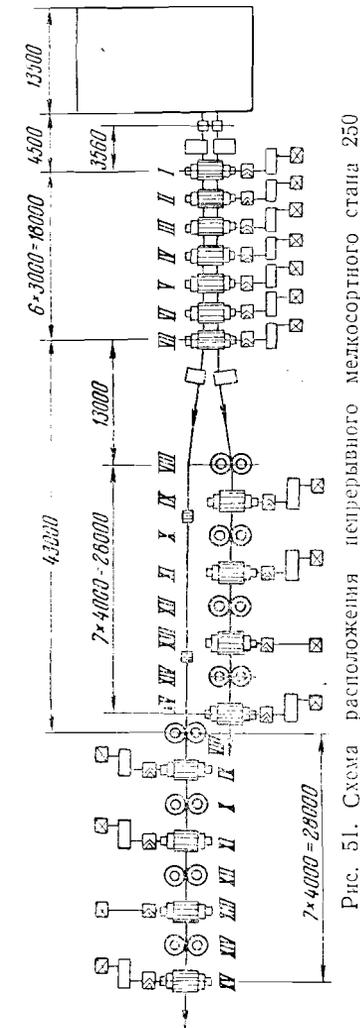


Рис. 51. Схема расположения непрерывного мелкосортного стана 250

10 мм и арматурного профиля № 10. Или окалиный калибр VI клетки при работе на заготовке квадрат 80 мм используется в качестве калибра IV клетки при прокатке по схеме, предусматривающей работу на заготовке квадрат 60 мм, и т. д. Использо-

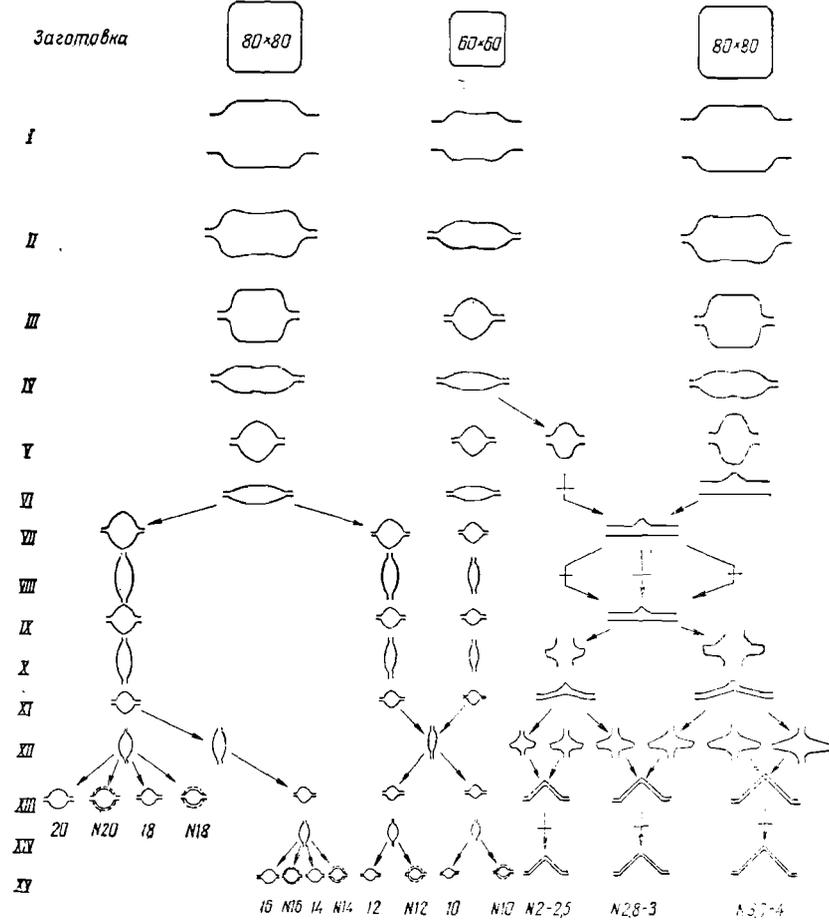


Рис. 52. Схема калибровки валков мелкосортного стана

вание одних и тех же калибров для различных схем прокатки уменьшает необходимый парк валков, а также упрощает их ремонт и замену. На перевалку горизонтальных клетей, как мелкосортных, так и проволочных станов, затрачивается 15 мин; вертикальных 45 мин. Получение требуемых размеров готового профиля достигается путем настройки стана. Для иллюстрации сказанного ниже приводятся таблицы калибровки двух круглых и углового профилей (табл. 3—5).

Таблица 3

Калибровка круглой стали диаметром 10 мм

№ клетки	Тип калибра	Размеры калибра, мм			Размеры полосы				Число оборотов валков в минуту	Скорости прокатки м/сек
		ширина	глубина вреза ручья	зазор	высота мм	ширина мм	площадь поперечного сечения, мм ²	длина м		
Черновая группа клетей										
I	Эллиптический	70	16	22	54	61	3100	13,6	19,4	0,35
II	Овальный	80	13	6	32	76	2060	20,4	28,6	0,52
III	Овальный ребровой	40	20,5	6	47	40	1430	29,3	42,2	0,75
IV	Овальный	61	7,75	5,5	21	60	960	43,6	59,5	1,12
V	Овальный ребровой	28	14,5	3,5	32,5	29	696	60,3	84,6	1,54
VI	Овальный	43	5,25	4,0	18,5	43	470	89,2	121,0	2,29
VII	Овальный ребровой	20	10,5	3,5	24,5	20	376	112,0	154,0	2,86
Чистовая группа клетей										
VIII	Овальный	31,0	3,6	4,8	30	12,0	290	146	225	3,69
IX	Овальный ребровой	15,5	8,25	3,0	19,5	16,0	234	181	286	4,60
X	Овальный	25,0	2,3	4,7	25,3	9,3	190	220	342	5,65
XI	Овальный ребровой	13,0	6,9	2,0	15,8	13,6	156	269	429	6,95
XII	Овальный	25,0	2,3	3,0	20,5	7,6	130	323	500	8,28
XIII	Овальный ребровой	10,6	5,35	2,5	13,2	11,6	110	385	715	9,78
XIV	Овальный	16,5	2,95	1,9	15,5	7,8	93	454	700	11,54
XV	Круглый	10,3	4,3	1,5	10,1	10,1	80	526	980	13,50

Примечания: 1. Прокатывается заготовка квадрат 60 мм, длиной 11,7 м, массой 318 кг. Суммарная вытяжка по всем клетям $\mu_{\Sigma} = 45$. Средняя вытяжка за проход $\mu_c = 1,29$. Фактическая часовая производительность при прокатке круга диаметром 10 мм 32,1 т; арматурной стали № 10 — 63,8 т.

2. Переориентирующиеся стрелки (линии) указывают на кантовку раската. Прокатка арматурной стали № 10 производится по этой же схеме, но размеры чистового овала увеличиваются до 16x8,3 мм и соответственно изменяются размеры металла в двух-трех предыдущих клетях.

Калибровка круглой стали диаметром 18 мм

№ клетки	Тип калибра	Размеры калибра, мм			Размеры полосы				Число оборотов валков в минуту	Скорости прокатки м/сек
		ширина	глубина вреза ручья	зазор	высота мм	ширина мм	площадь поперечного сечения мм ²	длина м		
Черновая группа клеток										
I	Ящичный	90	16	43	75	82	5900	12,9	26,2	0,47
II	Ящичный	95	22	8	52	90	4300	17,6	37,2	0,72
III	Ящичный	63	25	6	56	59	3120	24,4	52,3	0,88
IV	Овальный	80	13	8	34	76	2210	34,3	68,2	1,24
V	Овальный ребровой	40	20,5	10	51	40	1590	47,6	97,0	1,72
VI	Овальный	61	7,75	10,5	26	60	1260	60,0	116,0	2,18
VII	Овальный ребровой	32	19	4	42	32	1000	75,5	153,5	2,75
Чистовая группа клеток										
VIII	Овальный	50	7,60	5,3	48,5	20,5	768	98,0	221,0	3,75
IX	Овальный ребровой	25,5	13,95	4,1	32	26,0	610	124,0	288	4,50
X	Овальный	42	5,20	4,6	39	15	470	160	358	5,84
XI	Овальный ребровой	19,5	10,75	3,5	25	20,0	375	200	460	7,32
XII	Овальный	28,5	6,45	2,1	28	15,0	310	245	546	8,85
XIII	Круглый	18,5	8,35	1,5	18,3	18,3	263	290	785	10,50

Примечания: 1. Прокатывается заготовка квадрат 80+1 мм, длиной 11,8 м, массой 573 кг. Суммарная вытяжка по всем клетям $\mu_{\Sigma} = 24,5$. Средняя вытяжка за проход $\mu_c = 1,28$. Фактическая часовая производительность при прокатке профиля диам. 18 мм равна 109,4 т; арматурной стали № 18 — 100,4 т.

2. Перекрещивающиеся стрелки (линии) указывают на кантовку раската. Прокатка арматурной стали № 18 производится по этой же схеме, но размеры чистового овала увеличиваются до 15,6×28 мм и несколько изменяются размеры металла в 2—3 предыдущих клетях.

Таблица 5

Калибровка угловой стали 40×40×4 мм

№ клетки	Тип калибра	Размеры калибра, мм			Размеры полосы				Число оборотов валков в минуту	Скорости прокатки м/сек	
		ширина	глубина вреза ручья	зазор	высота мм	ширина мм	ширина сечения по средней линии мм	площадь поперечного сечения мм ²			длина м
Черновая группа клеток											
I	Ящичный	90	16	43	75	82	5900	12,9	26,2	0,47	
II	Ящичный	95	22	8	52	90	4300	17,6	37,2	0,64	
III	Ящичный	63	25	6	56	59	3120	24,4	52,3	0,88	
IV	Овальный	80	13	8,5	34,5	76	2250	33,8	67,1	1,22	
V	Овальный ребровой	38	20,5	19	60	37	1780	43,0	88,0	1,55	
VI	Фасонный со свободным уширением	—	10	16	16*	70	1250	61,5	113,5	2,20	
VII	То же	—	10	11	11*	73	930	81,8	153	2,96	
Чистовая группа клеток											
VIII	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
IX	Фасонный со свободным уширением	—	9	8	8*	74	675	113	243	4,07	
X	Фасонный ребровой	71	24	23	8,2*	71	75,0	665	114	290	4,13
XI	Фасонный со свободным уширением	—	7	6	6*	72	77,6	485	156	335	5,67
XII	Фасонный ребровой	66	29,5	7	6,3*	66	73,4	480	158	420	5,74
XIII	Угловой	—	31	5,5	4,8*	—	76,4	372	203	510	7,36
XIV	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
XV	Угловой	—	31	4,4	4,0*	—	77,2	312	242	610	8,82

Примечания: 1. Прокатывается заготовка квадрат 80+1 мм, длиной 11,8 м, массой 573 кг. Суммарная вытяжка по всем клетям $\mu_{\Sigma} = 20,5$. Средняя вытяжка за проход $\mu_c = 1,26$. Фактическая часовая производительность 65,5 т.

2. Перекрещивающиеся стрелки (линии) указывают на кантовку раската.

* Размеры по полке.

Таблица 6

Характеристика рабочих клеток проволочного стана

№ клетки	Рабочие валки					Приводные двигатели		
	диаметр, мм		длина бочки мм	число оборотов в минуту		мощность квт	число оборотов в минуту	
	макс.	мин.		макс.	мин.		макс.	мин.
Черновая группа клеток								
I	445	380	900	18,12	9,06	2000	600	300
II	445	380	900	25,4	12,7			
III	445	380	900	40,4	20,2			
IV	445	380	900	62,6	31,3			
V	380	335	900	105,4	52,7			
VI	380	335	900	158,2	79,1			
VII	380	335	900	221,4	110,7			
Первая средняя группа клеток								
VIII	335	298	800	372	186	1200	600	300
IX	335	298	800	508	254			
X	335	298	800	600	300			
XI	335	298	800	760	380	1200	600	300
Вторая средняя группа клеток								
XII	335	310	600	900	320	430	900	320
XIII	335	310	600	900	320	430	900	320
Чистовая группа клеток								
XIV	Не работает							
XV	»							
XVI	277	255	400	1650	550	200	1500	500
XVII	280	255	400	1860	620	200	1500	500
XVIII	277	255	400	2190	730	200	1500	500
XIX	280	255	400	2400	800	200	1500	500

Прокатанная проволока подается по отводящим трубкам на моталки с неподвижным бунтом (типа Эденборна). За станом расположено 8 таких моталок, по две на каждую нитку катанки. Смотанный бунт сталкивателем сдвигается со стола моталки на цепной транспортер, который передает бунты на муфельный транспортер. На стане установлено два таких транспортера. Бунты катанки передвигаются этими транспортерами по чугунным настильным плитам. Во время транспортировки бунтов муфельным транспортером к крюковому конвейеру они постепенно охлаждаются до температуры примерно 400—600° С. Два крюковых конвейера, расположенных в становом пролете, служат для окончательного охлаждения бунтов и передачи их на склад готовой продукции.

На рис. 54 изображена схема калибровки валков проволочного стана. Как видно из схемы, калибровка черновой и обеих

промежуточных групп выполнена по типичной системе овал — квадрат, обеспечивающей максимальные вытяжки. Исключение составляют лишь калибры двух первых клеток, которые имеют

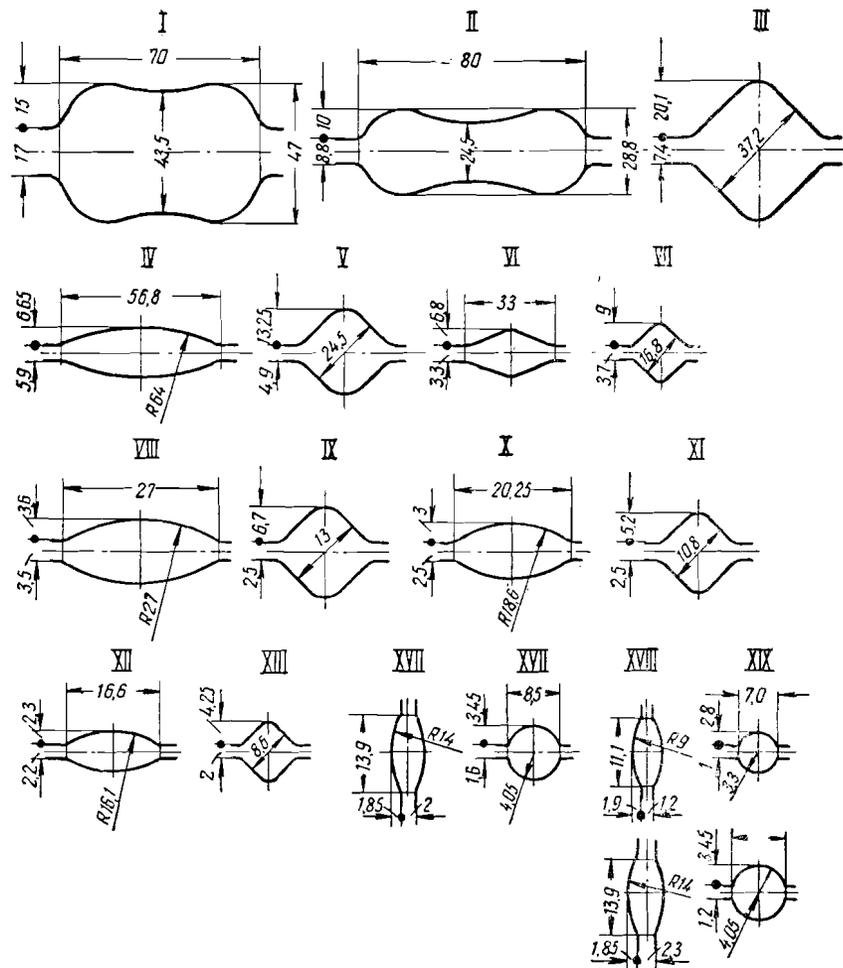


Рис. 54. Схема калибровки валков проволочного стана

форму плоских овалов, напоминающих яичные калибры, а также калибр шестой клетки, имеющий форму ромба. Этот калибр совсем недавно принят вместо овала для улучшения устойчивости полосы при задаче ее с кантовкой в VII клетку, а также для получения более точных размеров квадрата, выходящего из последней клетки черновой группы. Для чистовой группы принята калибровка по системе овал — круг. Такая калибровка несколько снижает интенсивность вытяжки раската, но зато положи-

Таблица 7.

Калибровка катанки диаметром 6,5 мм

№ клетей	Тип калибра	Размеры полосы					Число оборотов валков в минуту	Скорость прокатки, м/сек
		высота, мм	ширина, мм	сторона квадрата, или диаметр круга, мм	площадь поперечного сечения, мм ²	длина, м		
Черновая группа клетей								
I	Ящичный	47	67	—	2870	14,7	15,2	0,33
II	Овальный	28,8	78	—	1980	21,3	21,4	0,39
III	Квадратный	47,6	45	37,2	1340	31,5	34,0	0,71
IV	Овальный	19,2	56	—	840	50,4	52,8	0,13
V	Квадратный	31,4	29	24,5	580	73,0	89,0	1,65
VI	Ромбический	16,9	36	—	373	115,0	133,5	2,61
VII	Квадратный	21,7	20	16,8	272	155,0	187,0	3,52
Первая средняя группа клетей								
VIII	Овальный	10,7	25	—	217	193	257	4,44
IX	Квадратный	15,9	15,7	13	161	260	350	—
X	Овальный	8,5	19	—	130	323	430	7,43
XI	Квадратный	12,9	12	10,8	107	394	545	—
Вторая средняя группа клетей								
XII	Овальный	6,8	16 ⁿ	—	86	492	645	11,2
XIII	Квадратный	10,5	10 ⁿ	8,6	70	605	800	14,0
Чистовая группа клетей								
XIV	—	—	—	—	—	—	—	—
XV	—	—	—	—	—	—	—	—
XVI	Овальный	12,7	5,7	—	60	710	1155	16,3
XVII	Круглый	8,5	7,5	—	49	900	1425	20,0
XVIII	Овальный	9,8	5,0	—	39	1060	1850	25,0
XIX	Круглый	6,7	6,7	6,7	35,2	1210	2000	27,7

Примечания: 1. Прокатываемая заготовка квадрат 60 мм, длиной 12 м, массой 324 кг. Суммарная вытяжка по всем клетям $\mu_{\Sigma} = 100$. Средняя вытяжка за проход $\mu_c = 1,31$.

2. Перекрещивающиеся стрелки указывают на кантовку раската.

тельно сказывается на качестве катанки. Помимо этого, применение такой системы калибровки позволяет использовать круглый калибр XVII клетки в качестве отделочного калибра при прокатке катанки диаметром 8 мм и тем самым сократить эксплуатируемый парк валков и объем работ, связанных с переходом на прокатку нового профилеразмера.

В табл. 7 приведены основные параметры калибровки катанки диаметром 6,5 мм. Режим прокатки катанки диаметром 8 мм совершенно не отличается от приведенного в табл. 7 для всех групп клетей, кроме чистовой. Два последних прохода при прокатке катанки диаметром 8 мм могут быть осуществлены по желанию в XVI и XVII или в XVIII и XIX клетях стана. При этом предчистовой овал имеет размеры 12 × 6 мм, а диаметр круга в горячем состоянии равен 8,1 мм. Число оборотов валков двух последних клетей равно соответственно 1135 и 1355 в минуту, что обеспечивает выходную скорость прокатки 18,8 м/сек. Несовершенная конструкция подшипниковых опор прокатных валков и шпindelных соединений вынуждает снижать выходную скорость прокатки катанки диаметром 6,5 мм до 25—26 м/сек, против 28 м/сек по калибровке.

12. Арматура мелкосортных станов Криворожского металлургического завода

На рис. 55 приведен общий вид проводковой арматуры, которой оборудованы клетки (I—VII) черновой группы стана. Арматура этих клетей совершенно идентична по конструктивному оформлению. Отличия заключаются только в форме удерживающих канавок вводных пропусков и конфигурации каналов выводных и кантующих проводок, а также в некоторых конструктивных размерах. Исключение составляет вводная арматура первой клетки, представляющая собой вводные линейки, отлитые за одно целое с проводковым брусом, которую часто называют вводным столом. Эти линейки изображены на рис. 55, а рядом с вводной арматурой остальных клетей группы.

Арматура крепится на фасонных проводковых брусках 5 (рис. 55), в которых имеется по два гнезда для размещения деталей соответственно вводных или выводных устройств. Расстояние между осями этих гнезд равно шагу калибров на валках. Бруска крепятся к станинам болтами 1 с Т-образными головками, которые вводятся в вертикальные пазы в стойках станин. Продольные пазы, имеющиеся на концах бруса, при отпущенных болтах 1 разрешают перемещать брус в горизонтальной плоскости. Поскольку как вводная, так и выводная арматура размещаются в специальных гнездах и не могут передвигаться вдоль бруса, установка их соосно с калибрами производится перемещением всего бруса вдоль бочки валка. В вертикальном направлении перемещение бруса и проводковой арматуры осу-

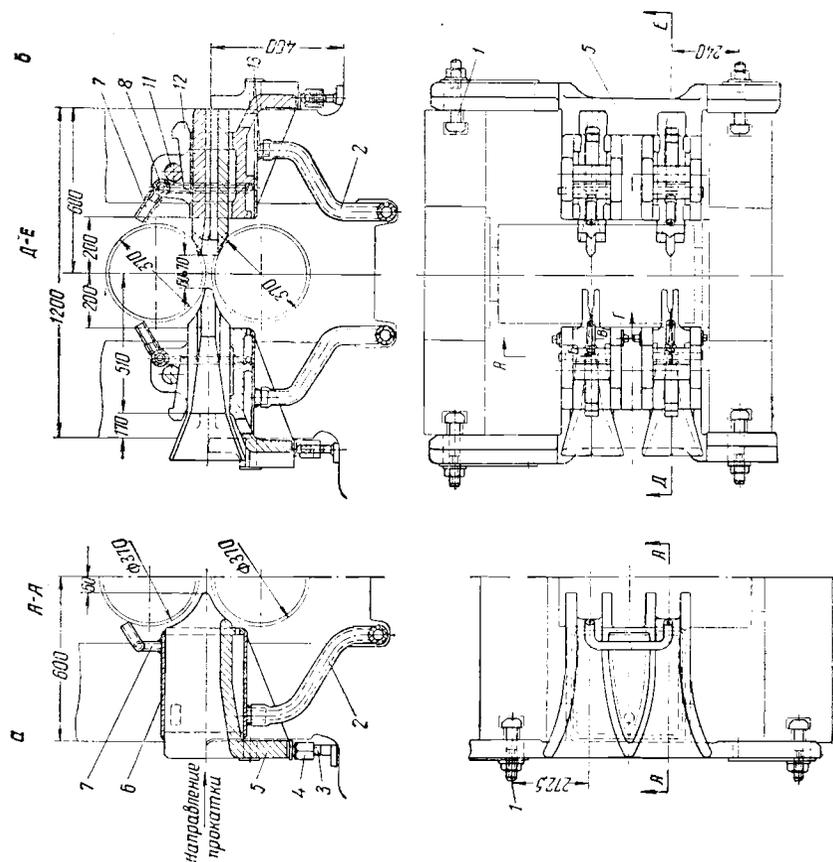


Рис. 55. Проводковая арматура черновых клетей малакоротного стана:
 1 — болты с Т-образными головками;
 2 — резиновые шланги; 3 — болты; 4 — гайки; 5 — проводковые брусья; 6 — лист стальной; 7 — резиновый наколник; 8 — штуцер; 9 — гайка; 10 — болт; 11 — упорный брусок; 12 — клин; 13 — штуцер

а б в г

А-А

Б

АБВГ

а

направление прокатки

ществляется с помощью болтов 3, укрепленных неподвижно на приливах, имеющих на стойках станин. Гайки 4 со сферическими торцовыми поверхностями, навинчиваемые на эти болты, служат опорами бруса и позволяют регулировать его положение по высоте. Следует заметить, что такая регулировка производится практически очень редко, так как брусья, однажды правильно установленные на клетки, не нуждаются в вертикальной регулировке во время эксплуатации. Проводковые брусья изготавливают литьем из стали 35.

Представляет интерес принятая на заводе система охлаждения проводковой арматуры и прокатных валков. Охлаждающая вода по гибким резиновым шлангам 2 диаметром 32 мм подается в П-образную полость в нижней части бруса, откуда через брызгала овального сечения, имеющиеся в теле бруса, поступает на рабочий ручей нижнего валка. На верхний валок вода поступает по вертикальным каналам, выфрезерованным в наружных стенках стоек гнезд бруса, перекрытых снаружи приваренными стальными полосами. Из них вода поступает в штуцер 8 и далее по резиновым трубам 7 направляется на ручей верхнего валка.

На передней стороне первой клетки подвод охлаждающей воды на верхний валок осуществляется через брызгала 7, в которые вода поступает из полости, заключенной между двумя средними вводными линейками, закрытой сверху листом 6. Перестановка проводковой арматуры при смене калибров обеспечивает одновременно перемещение водопроводящих деталей и точную подачу воды на поверхность рабочего калибра. Такой способ охлаждения валков уменьшает расход воды и значительно сокращает время, необходимое на перестановку и крепление гибких шлангов, обычно применяемых на станах.

Вводные пропуски клетей черновой группы представляют собой обычные пропуски трения скольжения, изготавливаемые литьем из стали 35. Вводная часть пропусков выполнена в виде раструба и предназначена для улавливания переднего конца раската и направления его в канал, образуемый рабочими канавками пропусков. Передняя часть этого канала представляет собой постепенно сужающуюся воронку с сечением в форме овала или прямоугольника (в зависимости от конфигурации задаваемого профиля). В конце пропусков на расстоянии примерно 150 мм от носка размеры поперечного сечения проводящих каналов остаются постоянными. Форма и размеры этого сечения, являющиеся основными геометрическими характеристиками вводных пропусков клетей черновой группы, приведены на рис. 56.

Крепление вводных пропусков в гнездах проводковых брусьев, как это видно из рис. 55, осуществляется с помощью клина 12 и поперечной траверсы 11, вкладываемой в отверстия, имеющиеся в стойках гнезда. От продвижения вперед в зев валков (в случае завязывания заднего конца раската) пропуски удерживаются приливами на наружной поверхности входной во-

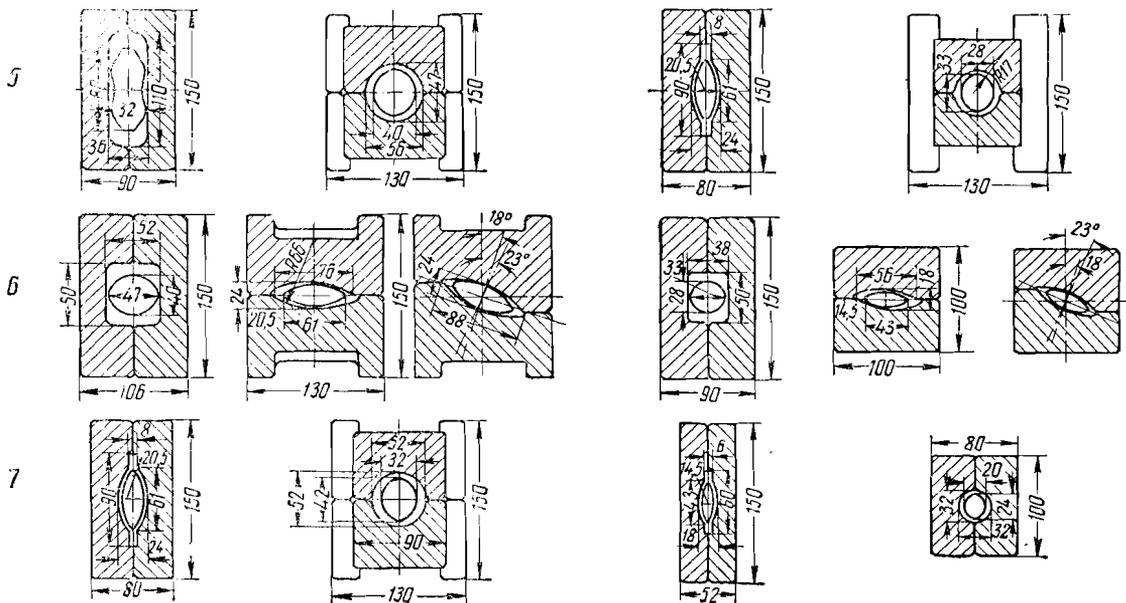
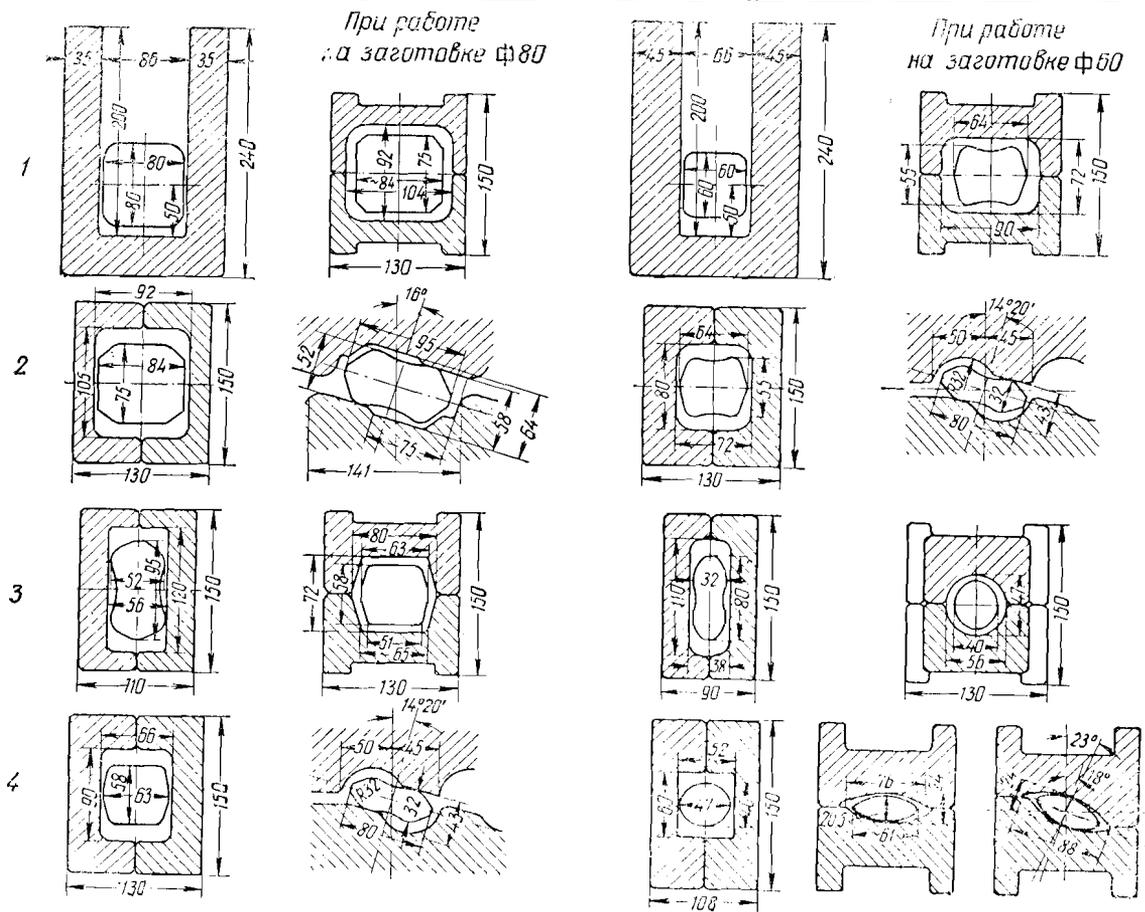


Рис. 56. Профили каналов вводных пропусков, выводных и кантовущих проводок черновых клеток мелкосортного стана 250

ронки, которые упираются в стойки гнезд. Регулировка ширины канала пропусков за счет сведения или разведения их носков производится двумя регулировочными болтами 10, ввинченными в чайки 9, которые запрессованы в стойки пропускных гнезд. Такой способ крепления вводных пропусков обеспечивает не только быструю и простую установку их на стане, но также позволяет с минимальными затратами времени освободить полосу, застрявшую в клетях.

Выводные и кантующие проводки совершенно аналогично крепятся в гнездах проводковых брусьев с помощью клина 12. Сами проводки ничем не отличаются от идентичных устройств, применяемых на большинстве прокатных станов. Приемная часть канала проводок выполняется в виде небольшого раструба, облегчающего съем с валков выходящей полосы. В остальной части сечение канала выводных проводок остается постоянным. Форма и основные размеры этих сечений для проводок клетей черновой группы стана показаны на рис. 56. Поперечные сечения канала выводных кантующих проводок, которые часто называют также геликондальными или винтовыми, поворачиваются по длине проводки (от носка к выходу) на определенный угол (по винтовой линии). На рис. 56 изображены поперечные сечения кантующих проводок в месте, где оканчивается приемный раструб. Для того чтобы показать угол, на который скручивается передний торец раската при выходе из проводки, рядом с входным сечением показано сечение проводки по заднему торцу.

Для кантовки крупных раскатов между II и III и между IV и V клетями применены кантующие ролики. Для изготовления роликов используют изношенные стальные прокатные валки. Общий вид кантующих роликов 12, смонтированных в сборочных рамах 6, приведен на рис. 57. Рамы имеют на своих стойках приливы с проушинами для крепления их болтами к станинам рабочих клетей. Кантующие ролики вращаются в подшипниках качения 8, которые смонтированы в подушках 10 и 7. Со стороны, обращенной к роликам, подушки имеют лабиринтное уплотнение, а с наружной стороны полости с подшипниками закрыты крышками 9. После размещения подушек с кантующими роликами в окнах сборочных рам последние перекрываются сверху траверсами 4. Нижние подушки 7 неподвижно покоятся на нижней поперечине рамы, а верхние подушки 10 подвешиваются к траверсе 4 на подвесках 3. Благодаря наличию пружин 2 верхние подушки при вращении нажимного болта 11 могут перемещаться в вертикальном направлении. Таким образом достигается регулировка кантующих роликов и требуемой степени кантования выходящего раската. Траверса фиксируется в пазах сборочной рамы при помощи пальцев. Между прокатными валками и кантующими роликами установлен открытый сверху много-ручьевого направляющий лоток. Он крепится к стойкам сбороч-

ных рам и служит для точного направления переднего конца раската в зев кантующих роликов. Число и шаг кантующих калибров на роликах соответствуют таковым на прокатных валках. Профиль кантующего калибра (см. рис. 57) зависит от конфигурации кантуемого сечения. Стойкость кантующих роликов составляет примерно 2 мес. непрерывной работы, после чего они ремонтируются электронаплавкой. На стане имеется четыре комплекта кантующих роликов, которые успешно эксплуатируются уже более четырех лет.

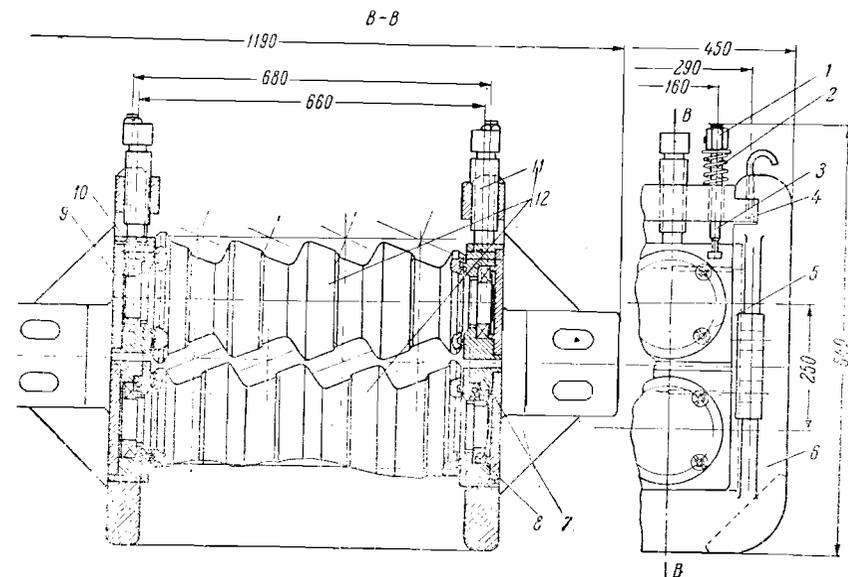


Рис. 57. Кантующие ролики мелкосортного стана:

1 — гайка; 2 — пружина; 3 — подвеска; 4 — траверса; 5 — шурупы; 6 — рама; 7, 10 — подушки; 8 — подшипник; 9 — крышка; 11 — нажимной болт; 12 — кантующие ролики

Как видно из схемы калибровки, приведенной на рис. 52, сечения, выдаваемые из II клетки, а также из IV клетки при работе на заготовке 80 × 80 мм, имеют вытянутую форму и сравнительно большие линейные размеры. При задаче этих сечений в следующую клеть в ребровом положении даже незначительная недокантовка или перекантовка раската, которая всегда имеет место на практике, приводит к большим отклонениям краев сечения от нормального положения (определяемого вертикальным положением большей оси сечения). Выравнивание сечения производится вводными пропусками, которые испытывают в связи с этим значительные нагрузки и быстро выходят из строя. Этому способствует также склонность задаваемого сечения к сваливанию в ребровом овальном калибре, конфигурация которого незначительно отличается от круга. На стальных пропусках (сталь

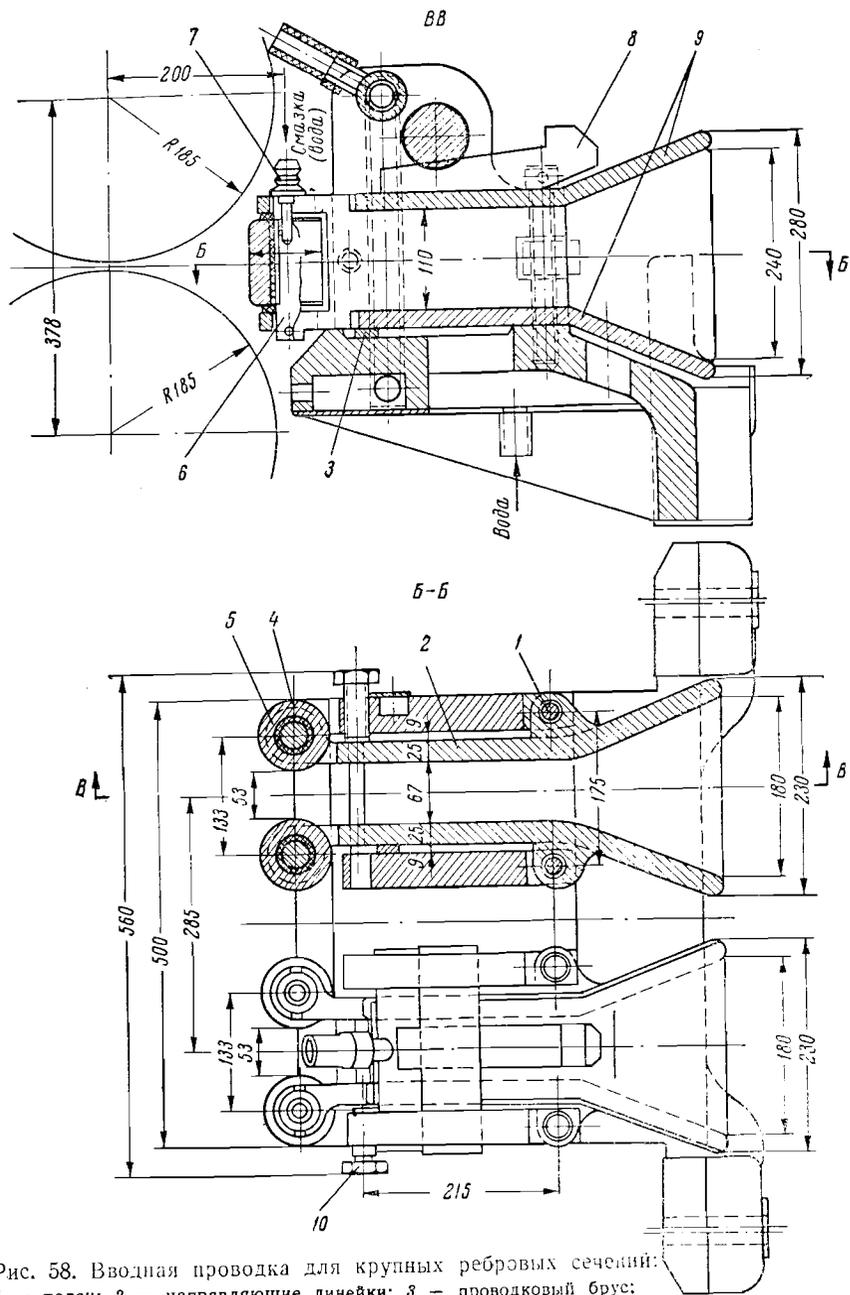


Рис. 58. Вводная проводка для крупных ребровых сечений:
 1 — палец; 2 — направляющие линейки; 3 — проводковый брус;
 4 — текстолитовая втулка; 5 — удерживающие ролики; 6 — ось
 ролика; 7 — штуцер; 8 — клин; 9 — фигурные плиты; 10 — регу-
 лировочные болты

марки 35Л) наблюдается налипание прокатываемого металла, а чугунные пропуски не выдерживают таких больших нагрузок и разрушаются. Низкая стойкость пропусков (в отдельных случаях их приходится менять 2—3 раза в смену) заставила работников завода попытаться заменить их роликовой арматурой. Первоначально установлена роликовая вводная проводка, изображенная на рис. 58. Конструкция проводки подгонялась под существующий проводковый брус. Проводка состоит из двух направляющих линеек 2, закрытых сверху и снизу фигурными плитами 9. Линейки крепятся в стойках гнезд бруса 3 на пальцах.

Пальцы 1 одновременно выполняют роль осей, вокруг которых направляющие линейки с удерживающими роликами 5 на концах могут поворачиваться на некоторый угол. Регулировочные болты 7 служат для установки нужного расстояния между роликами, после чего линейки закрепляются окончательно с помощью клиньев 8. В остальном роликовая вводная проводка не отличается от вводных устройств, рассмотренных выше (рис. 55). Ролики для удержания раскатов имеют гладкую цилиндрическую форму и изготавливаются из стали 50ХН с последующей закалкой или из чугуна. Они посажены на текстолитовые втулки 4, охлаждаемые водой и вращающиеся на стальных осях 6. Вода подводится по резиновым трубкам, надеваемым на штуцера 7, и через сверления в теле пальцев попадает на поверхность текстолитовой втулки. Опробование первого образца таких роликовых проводок показало их высокую стойкость. Он простоял без ремонта около пяти смен, пропустив более 7000 т металла [93]. Однако дальнейшая эксплуатация позволила установить, что текстолитовые втулки вследствие ржавления поверхности осей быстро срабатываются и выходят из строя. Средняя стойкость этих втулок в условиях завода оказалась равной примерно одной смене. Несмотря на простоту роликовых проводок, их изготовление, ремонт и обслуживание все же более сложные по сравнению с пропусками скольжения. Поэтому на стане чаще пользуются привычными стальными пропусками, некоторые характеристики которых видны из рис. 56 и табл. 8.

Представляют интерес некоторые особенности кантовки ребровых овалов, выходящих из V клетки и из III клетки при прокатке заготовки квадрат 60 мм. Форма сечения этих раскатов близка к кругу, в связи с чем скантовать такое сечение с помощью геликоидальных проводок затруднительно, а точность кантовки получается невысокая. Стойкость кантующих проводок для ребровых овалов чрезвычайно низкая. Поэтому на стане вместо кантующих проводок на выходной стороне клетки устанавливаются выводные проводки. Последние в этом случае настраиваются так, чтобы между рабочей поверхностью и раскатом

Таблица 8

Характеристика проводковой арматуры мелкосортного стана

№ клетей	Применяемая арматура	Материал рабочих элементов	Средняя стойкость между ремонтами			Количество ремонтов до полного износа	Стоимость одного ремонта, руб.	Стоимость арматуры, руб.
			ч	т	тысячи погонных метров раската			
<i>Для прокатки круглой стали диаметром 10 мм и арматурной стали № 10</i>								
VI	Вводные пропуски Кантующие проводки	Сталь 35	588	12360	2262	10	0,79	7,68
		Сталь 35	42	884	239,6	6	0,66	6,50
XIV	Вводные пропуски Выводная трубка	Сталь 35	140	2940	3404,7	40	0,55	8,67
		—	28	590	808,2	2	0,26	1,26
XV	Вводная роликовая про- водка Выводная трубка	Чугун СЧ18-36	70	1470	2013,5	—	0,7	18,12
		—	42	884	1407,6	3	0,26	0,75
<i>Для прокатки круглой стали диаметром 18 мм и арматурной стали № 18</i>								
VI	Вводные пропуски Кантующие проводки	Сталь 35	588	29200	2339,5	20	0,79	7,68
		Сталь 35	42	2090	209	6	0,66	7,75
XII	Вводные пропуски Выводная трубка	Сталь 35	84	4170	1416,6	20	0,55	8,67
		—	28	1390	571,2	2	0,26	1,26
XIII	Вводная роликовая про- водка Выводная трубка	Чугун СЧ18-36	84	4170	1713,6	—	0,7	18,12
		—	42	2090	1012,3	3	0,26	0,75
<i>Для прокатки угловой стали 40×40×4 мм</i>								
VII	Вводные пропуски: верхний нижний Выводные проводки	Сталь 35 } Чугун } СЧ18-36 }	168	5450	555,4	5	0,64	7,01
		Сталь 35	84	2720	372,6	5	0,64	6,6
XIII	Вводные пропуски: верхний нижний Выводные проводки	Сталь 35 } Чугун } СЧ18-36 }	84	2720	721,9	3	0,44	4,81
		Сталь 35	140	4550	1558,2	5	0,44	5,52
XV	Вводные пропуски: верхний нижний Выводные проводки	Сталь 35 } Чугун } СЧ18-36 }	22	714	244,5	3	0,44	4,81
		Сталь 35	84	2720	1110	5	0,44	4,64

Примечание. При прокатке угловой стали верхний пропуск практически не изнашивается. Стойкость вводных пропусков для угловых профилей, приведенная в таблице, относится к нижнему пропуску.

имелся достаточно большой зазор, разрешающий свободное скручивание овала. Успешной кантовке ребровых овалов способствует также склонность их к самокантованию в однорациусных овальных калибрах.

Арматура трения скольжения, применяемая на черновых клетях стана, ремонтируется обычными методами. Носки выводных проводок ремонтируют с помощью электронаплавки и последующей обработки наждачным кругом. Таким способом вос-

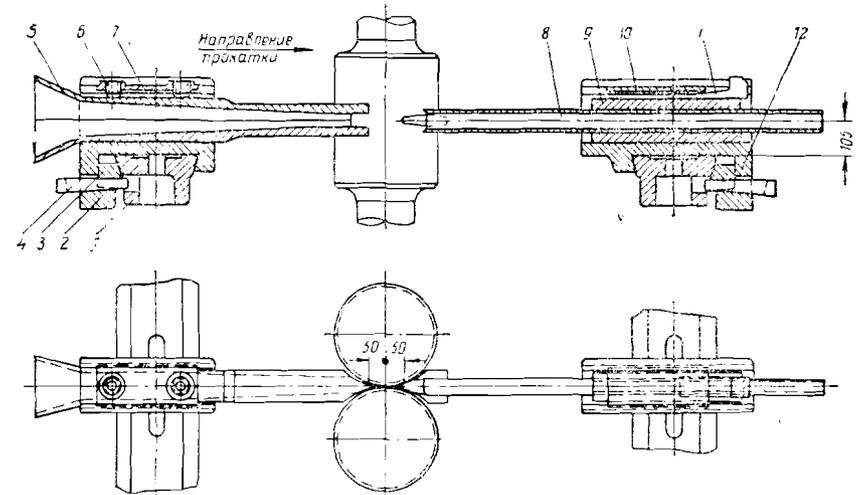


Рис. 59. Проводковая арматура вертикальных клетей мелкосортного стана: 1 — проводковый брус; 2 — вводная коробка; 3 — призматический сухарь; 4 — клин; 5 — вводные пропуски; 6 — болт; 7 — крышка коробки; 8 — выводная трубка; 9 — сухарь; 10 — опорная плита; 11 — клин; 12 — выводная коробка

становливаются также рабочие поверхности кантующих проводок и роликов. Сработавшие вводные пропуски перетачиваются на следующий (в сторону увеличения) размер данного сечения.

Арматура, применяемая на вертикальных клетях (VIII, X, XII, XIV) чистой линии стана, изображена на рис. 59. Проводковые брусья 1 этих клетей неподвижно крепятся к станинам. Сечение бруса имеет форму ласточкиного хвоста. На брусках с помощью клина 4 и призматического сухаря 3 крепится вводная коробка 2 или выводная коробка 12. Раньше коробки крепились к брускам болтами, для которых в теле брусков были сделаны продолговатые отверстия.

Верхний и нижний вводные пропуски 5 вертикальных клетей крепятся в коробке 2 двумя болтами 6, как это показано на рис. 59, или клином, как выводная трубка 8. Пропуски и выводные трубки вертикальных клетей отличаются от аналогичных устройств остальных клетей чистой линии своей длиной, дости-

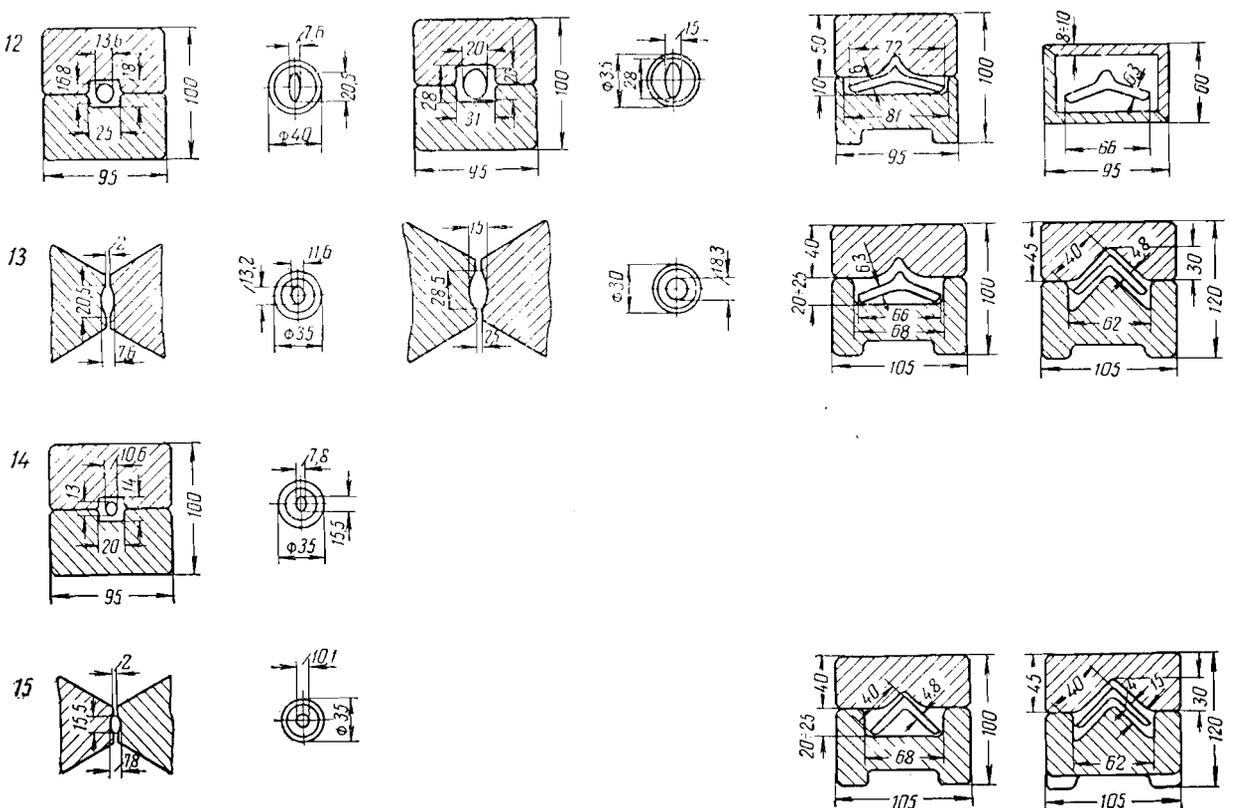
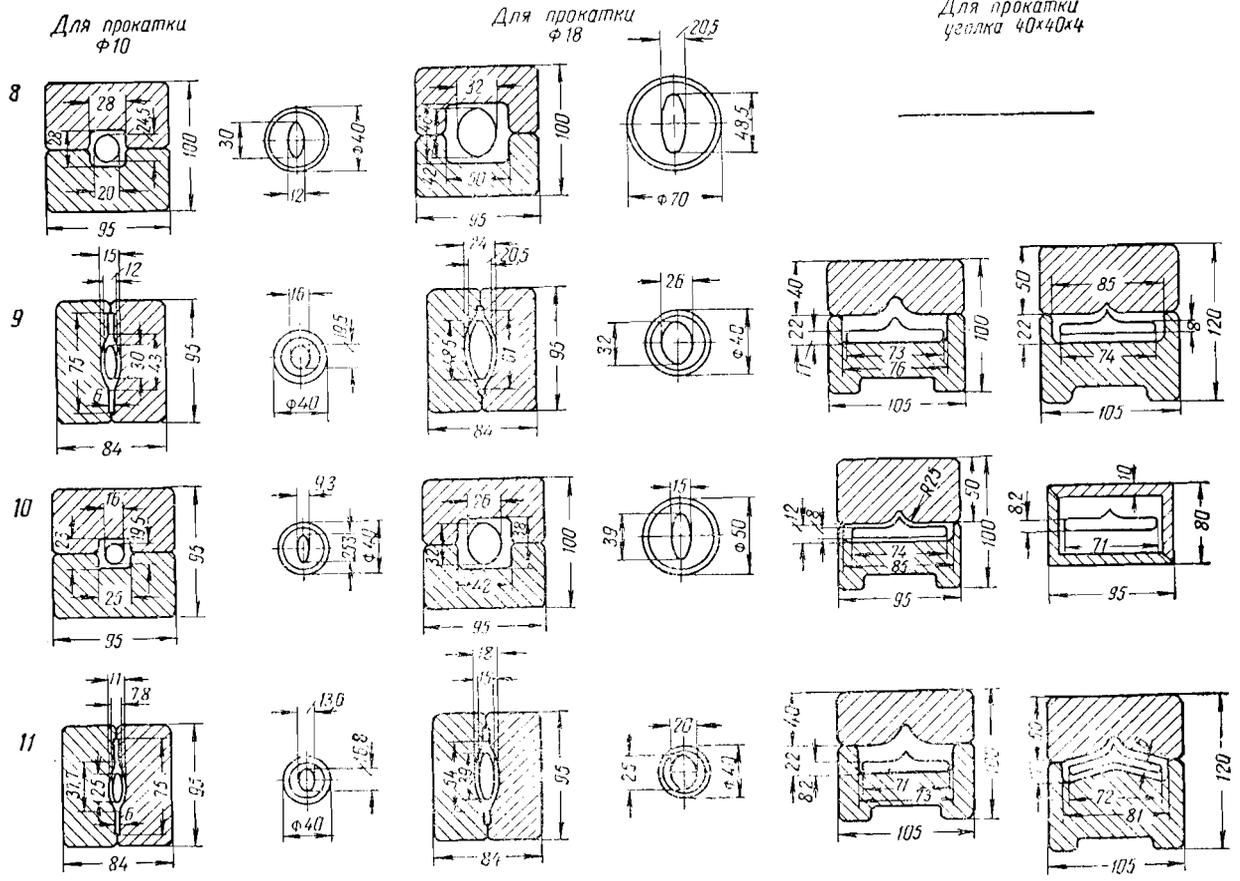


Рис. 61. Профили каналов вводных пропусков и выводных проводов чистой группы клеток мелко-сортного стана

брусев клетей черновой линии, изображенных на рис. 66. Подвод охлаждающей воды также осуществляется по резиновым шлангам 9, надеваемым на штуцер 8, и далее через каналы в теле бруса, которые хорошо видны из приведенного рисунка, (сечение $C-D$).

Вводные пропуски 2, собираемые в кассете 3 с помощью небольших металлических прокладок, устанавливаются и закрепляются в требуемом положении. Правильность установки пропусков в кассете проверяется шаблоном на стенде в проводочной мастерской. Кассета с собранными в ней пропусками крепится в гнезде проводкового бруса клином 4, опирающимся о траверсу 5. При прокатке угловых профилей вводные пропуски размещаются непосредственно в гнезде бруса. В этом случае регулировка положения пропусков и их крепление в гнезде производится болтами 10. В случае необходимости такой метод крепления пропусков применяется и при прокатке остального сортамента.

Как и на вертикальных клетях, в качестве выводной арматуры применяются выводные трубки 7. Трубки зажимаются между двумя сухарями 6 клином 4. Общая длина трубки равна 600 мм.

На XIII и XV клетях при прокатке круглых профилей и арматурной стали вместо вводных пропусков скольжения применяются роликовые вводные проводки. Описание и общий вид (рис. 31) такой проводки приведены ранее в разделе 5. Роликовые вводные проводки применялись на чистовых клетях стана и при прокатке уголков. Конструкция и особенности работы этих проводок описаны в разделе 6. Как уже отмечалось, наблюдения за эксплуатацией их на стане показали вполне удовлетворительные результаты.

Внедрение на стане новой калибровки угловых профилей, при которой отпала необходимость в надежном удерживании и точном центрировании раскатов, задаваемых в чистовые клетки, сделало экономически невыгодным использование роликовых проводок. В настоящее время их заменили простыми и дешевыми пропусками скольжения.

Конфигурация и основные размеры сечения вводной и выводной арматуры, применяемой на клетях чистовой группы при прокатке круглой (диаметром 10 и 18 мм) и арматурной (№ 10 и 18) стали, а также угловой стали ($40 \times 40 \times 4$ мм), видны из схемы рис. 64. Здесь же для наглядности изображены сечения проводимых раскатов. Основные технико-экономические характеристики арматуры приведены в табл. 8. Общая масса полного комплекта проводковой арматуры мелкосортного стана достигает 24 т (табл. 10). Примерно 80% этой массы приходится на проводковые брусья, петлевые столы и передающие желоба. Вводные пропуски, линейки, выводные и кантующие проводки и другая быстроизнашивающаяся арматура занимают свыше

12%, а доля роликовой арматуры (кантующие ролики и роликовые проводки) составляет на мелкосортном стане около 8%. По заводским данным, удельный расход проводковой арматуры на тонну годного проката составляет по мелкосортному стану примерно 200 г.

13. Арматура проводочных станов Криворожского металлургического завода

Проводковая арматура, применяемая на проводочных станах Криворожского завода, несколько отличается от арматуры сортовых станов, рассмотренной выше. Эти отличия обусловлены в основном различием применяемых калибровок, четырехниточной прокаткой на черновой и I промежуточной группах клетей, а также необходимостью кантовать более мелкие сечения и передавать их с большими скоростями.

В настоящее время все клетки стана работают с использованием арматуры трения скольжения. На рис. 62 приведен общий вид проводковой арматуры черновых (I—VII) клетей. На входной и выходной сторонах этих клетей с помощью болтов с T-образными головками 9 крепятся одинаковые четырехместные проводковые брусья 1. Вводные пропуски 2, а также выводные и кантующие проводки 6 устанавливаются непосредственно в гнезда (лотки) брусьев и закрепляются в них клиньями 10, опирающимися о перекрывающие плитки 4. Расстояние между гнездами брусьев соответствует шагу калибров на валках, поэтому при горизонтальном перемещении брусьев во время смены калибров как вводные пропуски, так и выводные проводки, все одновременно размещаются против новой четверки калибров. В случае неточного совпадения осей калибров и проводок последние могут быть смещены на небольшое расстояние в гнезде бруса. Тонкая регулировка положения вводных пропусков при подобных обстоятельствах производится клиньями 10, забиваемыми в пазы бруса. Как и на сортовых станах, охлаждение нижних ручьев рабочих калибров осуществляется через овальные отверстия в передней стенке бруса, куда охлаждающая вода поступает по резиновым шлангам 8, надеваемым на патрубок 7.

Вводные пропуски, выводные и кантующие проводки черновых клетей стана изготавливают из стали 35Л и по мере износа ремонтируют электронаплавкой электродом Т-590. Средняя стойкость пропусков и проводок между ремонтами колеблется от 5 до 25 суток. Форма и основные размеры пропусков и проводок достаточно ясно видны из рис. 62 и 63, на котором в верхнем ряду изображены сечения вводных пропусков, а в нижнем показан вид торца выводных или кантующих проводок для всех клетей стана, если на них смотреть против хода прокатки. Для удобства на этом же рисунке приведены чертежи калибров.

Заметим, что для улучшения устойчивости раската, задаваемого с кантовкой в последнюю клеть черновой группы, на вал-

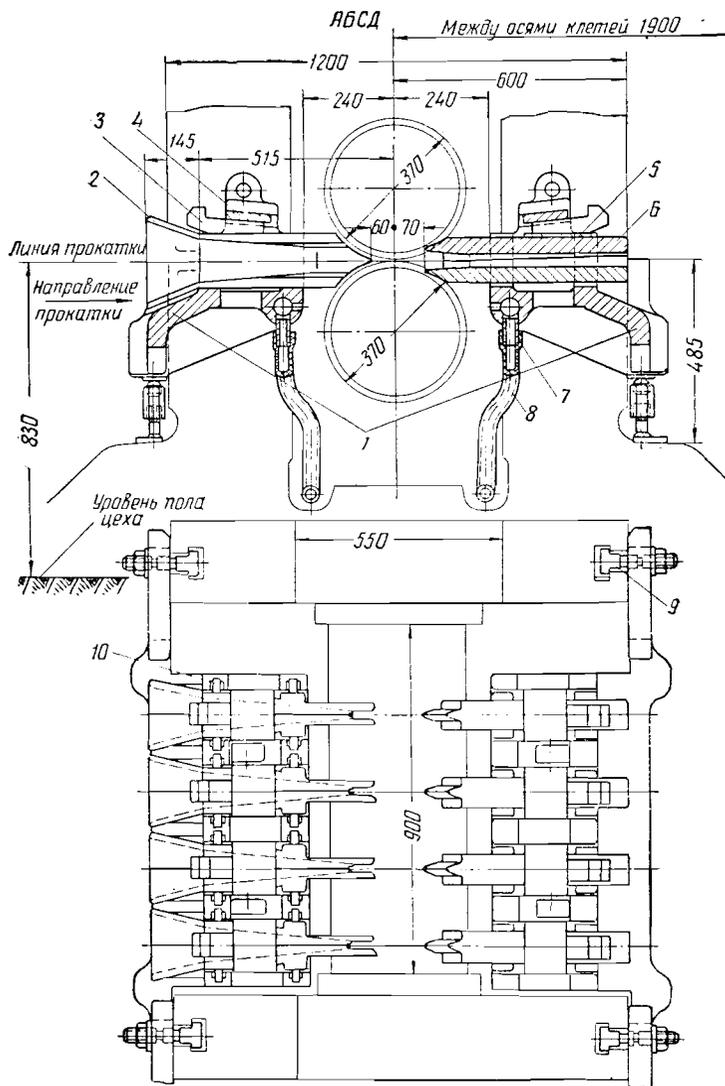
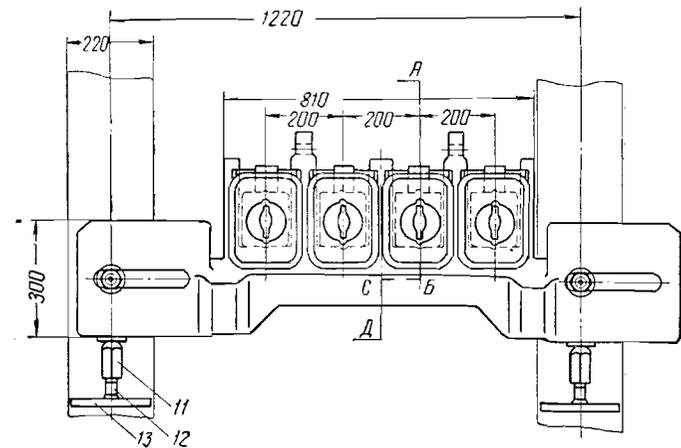


Рис. 62. Проводковая арматура черновых клетей проволочного стана:

1 — вводной и выводной проводковые брусья; 2 — вводные пропуски; 3 — клин; 4 — опорная плита; 5 — прокладка; 6 — выводные пропуски; 7 — патрубок; 8 — резиновый шланг для подвода воды; 9 — болт с Т-образной головкой; 10 — клинья; 11 — гайка со сферической головкой; 12 — болт; 13 — прилив



как VI клетки овальные калибры в настоящее время заменены ромбическими (см. рис. 54). Применение новой калибровки, при которой раскат квадратного сечения поступает в ромбический калибр VI клетки без кантовки, не показало ухудшения качества катанки. Вместе с тем прокатка по новой схеме позволила сократить работы по настройке стана и уменьшить число неполадок, связанных с получением в VII клетке плохо выполненных квадратов, быстрым износом выводных проводок VI клетки и вводных пропусков VII клетки, стойкость которых между ремонтами возросла до 15—25 суток.

Затруднения, связанные с кантовкой мелких овальных сечений геликоидальными проводками, заставили работников завода отказаться от таких проводок, заменив их на клетях первой и второй промежуточных групп кантующими трубками. Эти трубки представляют собой обычную газовую трубу со сплюснутым концом. При закреплении в лотке бруса выходной сплюснутый конец кантующей трубки устанавливается таким образом, чтобы большая ось сплюснутого торца составляла с горизонталью угол, равный примерно 45° . Такие же трубки, но не сплюснутые, применяются в качестве выводных устройств для квадратов, задаваемых в овальные калибры без кантовки. Длина выводных и кантующих трубок, устанавливаемых на клетях промежуточных групп, принимается равной 500—670 мм. Поскольку скручивание овальных сечений происходит только на выходе из трубы, стойкость ее, несмотря на интенсивное охлаж-

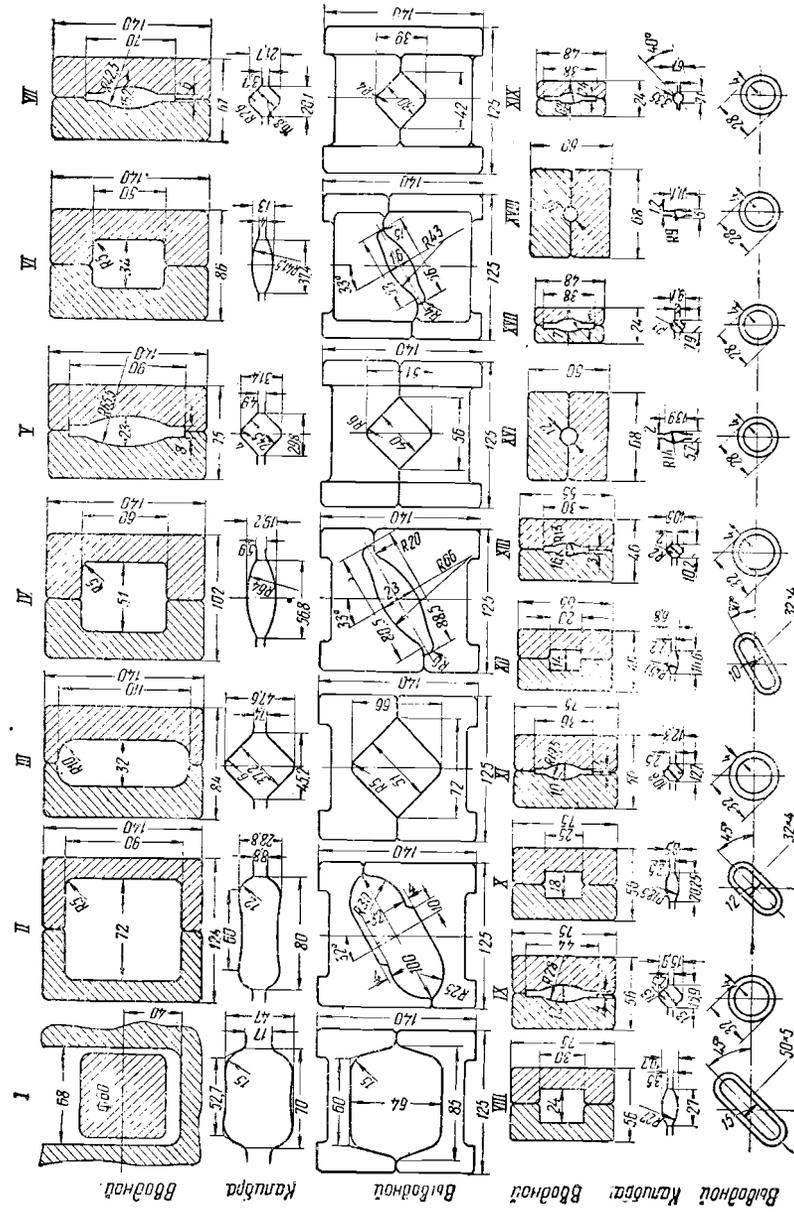


Рис. 63. Профили каналов выводных пропусков, выводных и кантующих проводов проволочного стана

дение водой, оказывается довольно низкая. Средний срок службы редко превышает 2—3 суток непрерывной работы. Интересно, что при высоких скоростях прокатки средняя стойкость кантующих проводов, применявшихся на стане ранее, оказывается практически ниже стойкости трубок, поскольку они выбиваются значительно чаще, чем трубки.

Вводные пропуски трения скольжения (рис. 64) перед установкой на стане собираются и закрепляются в кассете. Правильность сборки пропусков проверяется специальными шаблонами в проводочной мастерской. Кассета с собранными в ней пропускками крепится в гнезде проводкового бруса клином. Такой метод крепления в отличие от черновых клетей исключает регулировку положения пропусков на стане и обеспечивает тем самым быструю замену и точную установку их в гнездах бруса. Проводковые брусья первой промежуточной группы клетей (VIII—XI) совершенно не отличаются по конструктивному исполнению от брусьев, устанавливаемых на черновых клетях стана, но имеют несколько меньшие размеры.

Во вторых промежуточных группах прокатка ведется в две нитки, поэтому проводковые брусья имеют только по два гнезда для размещения и крепления трубок и пропусков. В остальном устройство проводковой арматуры, черновых клетей и клетей всех промежуточных групп совершенно идентично. Основные конструктивные размеры этой арматуры показаны на рис. 63, а некоторые технико-экономические характеристики приведены в табл. 9.

Чистовые группы стана состоят из четырех расположенных попеременно вертикальных и горизонтальных клетей (XVI—XIX). (Первая пара клетей — XIV и XV — в настоящее время демонтирована.) Арматура, устанавливаемая на вертикальных клетях, показана на рис. 65. Проводковые коробки 9 и 8, которые на заводе обычно называют вводными и выводными корпусами, размещаются на проводковых брусьях, которые неподвижно закреплены на стойках станин. (На рис. 65 брусья изображены тонкими линиями.) Проводковые коробки, имеющие основание в форме ласточкиного хвоста, крепятся к проводковым брусьям болтами с Т-образными головками, входящими в продольные пазы брусьев. Как и на сортовых станах, проводковые брусья и коробки вертикальных клетей, однажды установленные и закрепленные на рабочем месте, не требуют перестановки их во время эксплуатации, что уменьшает объем работ по монтажу и подгонке сменных деталей арматуры, упрощает ее настройку и обслуживание.

Крепление вводных пропусков 1 и разъемных выводных трубок (проводок 5 и 6) в гнездах брусьев осуществляется клиньями 2, опирающимися на плитки 3, вставляемые в пазы в щеках лотков. При этом пропуски помещаются непосредственно в лоток, а выводные проводки укладываются в сухари 7 и 4. Вывод-

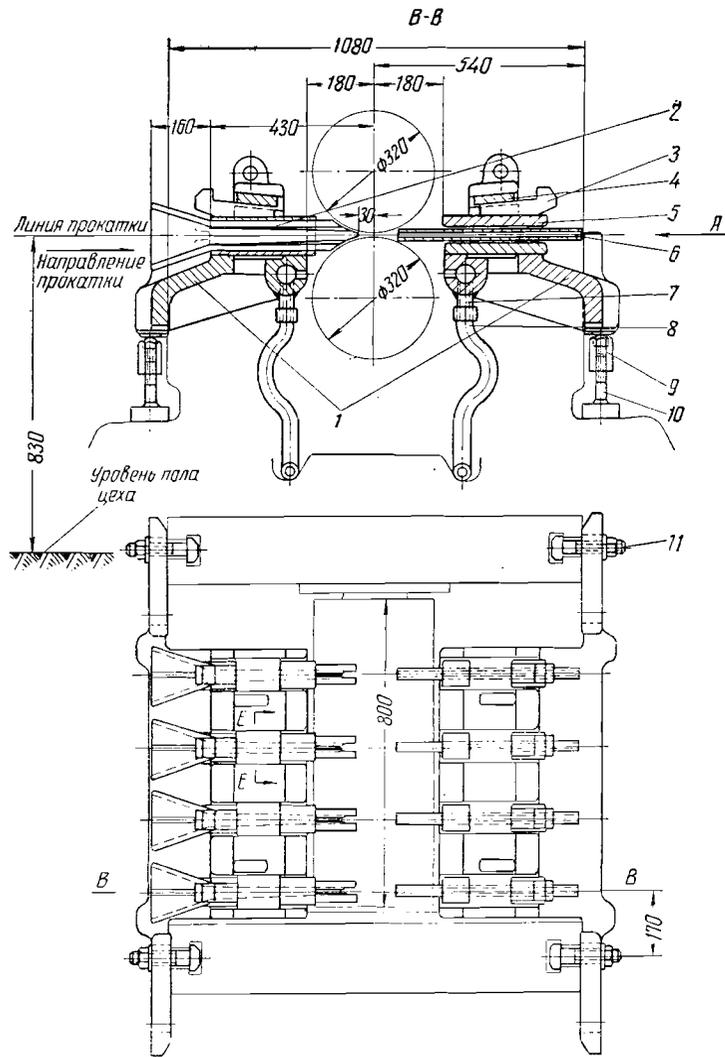
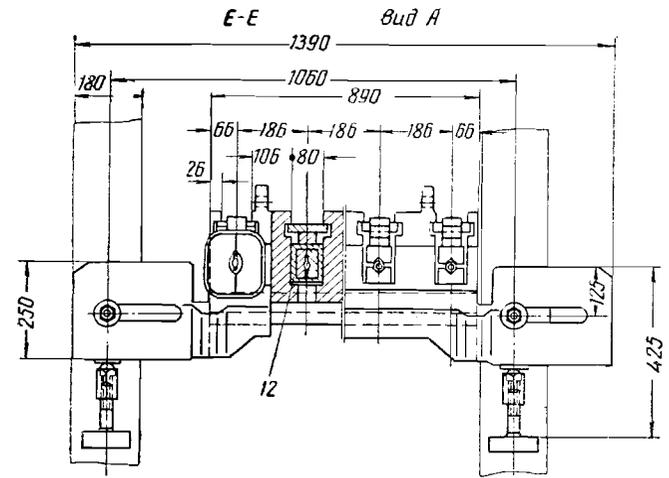


Рис. 64. Проводковая арматура клеток первой промежуточной группы проволочного стана:

1 — проводковые брусья; 2 — вводные пропуски; 3 — клин; 4 — опорная плита; 5 — сухари; 6 — выводная трубка; 7 — патрубков; 8 — резиновый шланг для подвода воды; 9 — гайка со сферической головкой; 10 — болт; 11 — болт с Т-образной головкой; 12 — камера для сборки пропусков



ные проводки вертикальных клеток изготавливают из круглой катаной стали диаметром 50 мм. Круглая заготовка разрезается вдоль продольной оси на две половинки, в которых протрагиваются полукруглые канавки. Глубина этих канавок составляет 10 мм при радиусе закругления реза равном также 10 мм. Применение таких необычных выводных трубок вызвано следующими соображениями. По наблюдению работников цеха нижняя длинная половинка трубки гарантирует точное направление переднего конца раската в приемную воронку вводного устройства следующей горизонтальной клетки. Верхняя короткая часть трубки обеспечивает свободный выход бракованной полосы в промежуток между клетями, чем устраняется опасность набивания металла в пространство между валками и проводковым брусом. Кроме этого, такая конструкция позволяет проще освобождать застрявший раскат и сразу же использовать трубки для вторичной установки. Стойкость разборных трубок несколько выше стойкости обычных цельных труб, применявшихся ранее, но и она составляет всего 2—5 смен.

Прокатка мелких овальных сечений в круглых калибрах двух последних горизонтальных клеток чистовых групп имеет ряд особенностей, связанных с малой устойчивостью этих сечений, их повышенной чувствительностью к настройке стана, установке арматуры и др. Это обстоятельство обусловило применение на этих клетях так называемой втулочной вводной арматуры (рис. 66), которая существенно отличается от вводных устройств

Таблица 9
Характеристика проводковой арматуры проволочного стана

№ клетей	Применяемая арматура	Материал рабочих элементов	Средняя стойкость между ремонтами			Количество ремонтов до полного износа	Стоимость одного ремонта, руб	Стоимость арматуры руб
			и	т	тысячи погонных метров раската			
Черновая группа клетей								
III	Вводные пропуски	Сталь 35	150	2850	183	5—10	1,35	2,75
	Выводные проводки	Сталь 35	480	9120	867	10—20	1,35	2,40
IV	Вводные пропуски	Сталь 35	1440	27400	2605	15—30	1,35	2,75
	Кантующие проводки	Сталь 35	360	6850	1039	10—20	1,35	3,23
V	Вводные пропуски	Сталь 35	288	5470	830	10—20	1,35	2,80
	Выводные проводки	Сталь 35	480	9120	2003	15—30	1,35	2,31
Первая промежуточная группа клетей								
VIII	Вводные пропуски	Сталь 35	480	9120	4271	15—30	1,05	1,22
	Кантующая трубка	Ст. 2—5	48	912	535	8—10	0,20	0,53
IX	Вводные пропуски	Чугун СЧ 18—36	24	456	268	2—3	0,20	1,10
	Выводная трубка	Ст. 2—5	96	1820	1440	8—10	0,20	0,44
Вторая промежуточная группа клетей								
XII	Вводные пропуски	Чугун СЧ 18—36	360	6840	8143	2—3	0,20	0,85
	Кантующая трубка	Ст. 2—5	72	1370	2029	8—10	0,20	0,47
XIII	Вводные пропуски	Чугун СЧ 18—36	24	456	675	2—3	0,20	0,77
	Выводная трубка	Ст. 2—5	96	1820	3312	8—10	0,20	0,48
Чистовая группа клетей								
XVIII	Вводные пропуски	Сталь 35	280	5320	13830	10—20	1,05	2,04
	Выводная трубка	Ст. 2—5	48	912	2979	8—10	0,20	0,70
XIX	Вводные пропуски	Чугун СЧ 18—36	6	114	372	1	0,10	0,55
	Выводная трубка	Ст. 2—5	48	912	3301	8—10	0,20	0,37

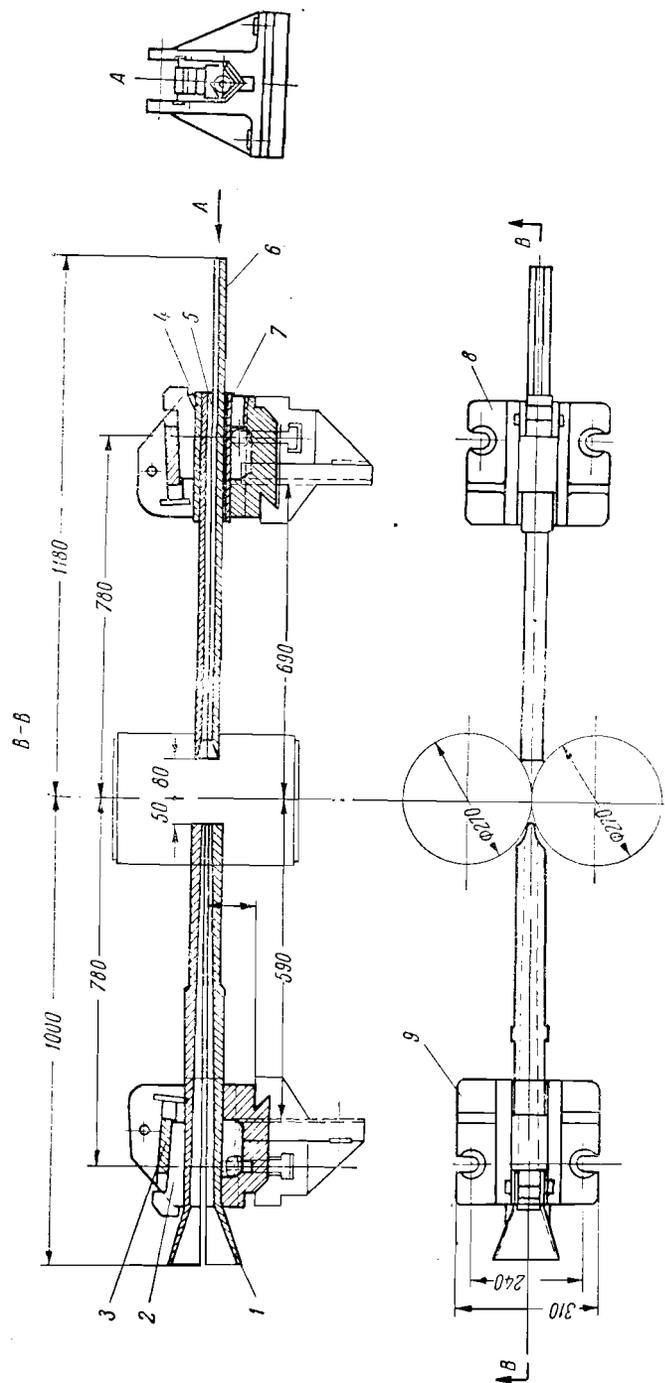


Рис. 65. Проводковая арматура вертикальных клетей проволочного стана: 1 — вводные пропуски; 2 — клин; 3 — опорная плита; 4, 7 — сушари; 5, 6 — верхняя и нижняя выводные проводки; 8 — выводная проводка; 9 — вводная проводка; 10 — выводная проводка

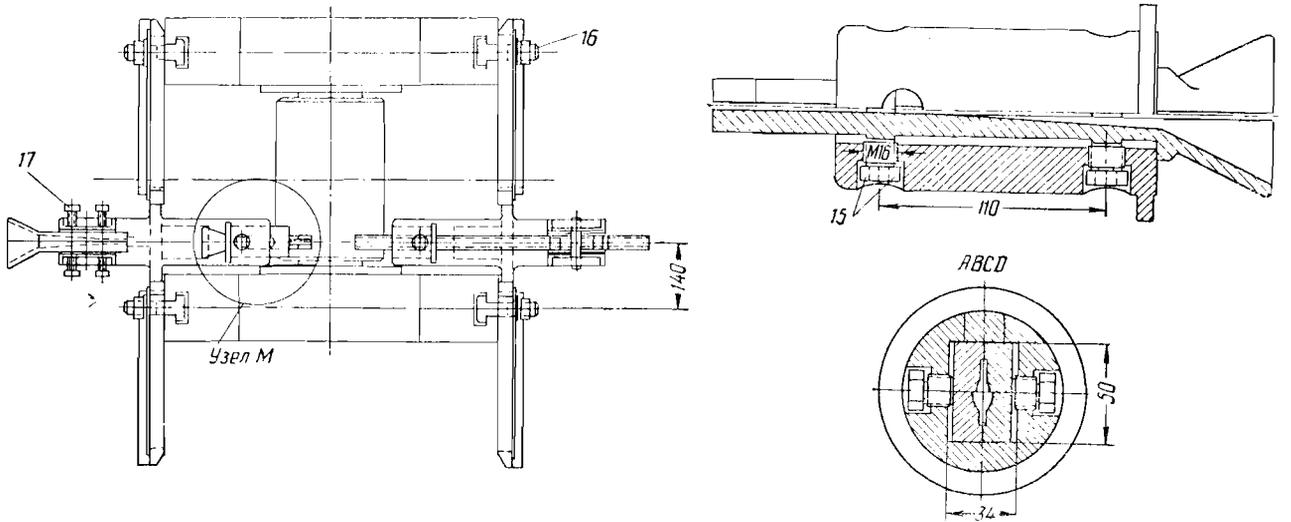
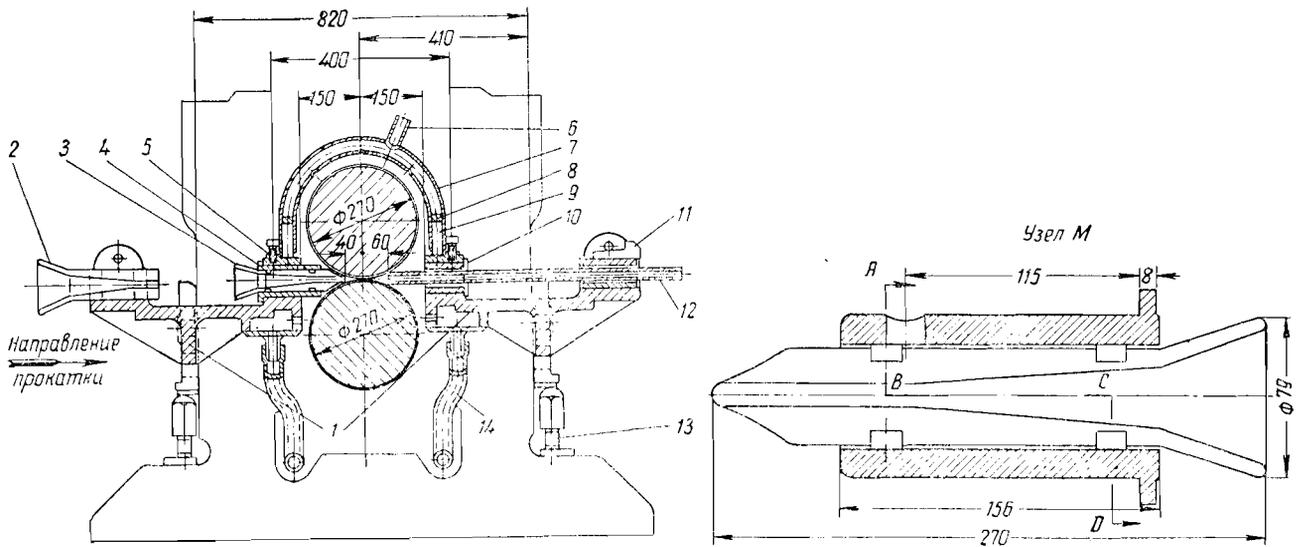


Рис. 66. Втулочная проводковая арматура чистовых клетей проволочного стана:

- 1 — проводковые брусья; 2 — направляющие пропуски; 3 — вводные пропуски; 4 — цилиндрическая втулка; 5 — стопорный болт; 6 — патрубок для охлаждающей воды; 7 — кольцевая труба с брызгалами; 8 — пробка; 9 — штырь; 10 — сухарь; 11 — клин; 12 — выводная трубка; 13 — болт; 14 — резиновый водоподводящий шланг; 15 — регулировочные болты; 16 — болт с Т-образной головкой; 17 — створные болты

оставшихся клетей стана. Основная особенность этой арматуры состоит в том, что вводные пропуски 3, собранные в цилиндрической втулке (кассете) 4, могут поворачиваться вместе с этой втулкой вокруг продольной оси в окне одноместного проводкового бруса 1. Поворотом втулки с пропусками и закреплением ее в требуемом положении болтом 5 в ряде случаев удается исправить дефекты задаваемого профиля, настройки стана, а также неточности установки самой арматуры.

Проводковые брусья 1 этих клетей представляют собой литые фасонные балки, которые болтами 16 крепятся к стойкам станин. Как и на остальных клетях, перемещение брусьев в вертикальном направлении осуществляется болтами 13. При отпущенных болтах 16 брусья ломиком передвигаются в горизонтальной плоскости. Прежнее конструктивное решение принято и для охлаждения нижнего валка, на который вода поступает из полости в нижней части бруса через брызгала в передней стенке. К проводковому брусу охлаждающая вода подается по гибкому резиновому шлангу 14. Охлаждение верхнего валка осуществляется из кольцевой трубы 7, вдоль которой имеется ряд брызгал, равномерно распределяющих воду на всю верхнюю часть ручья. Кольцевая труба 7 крепится на штырях 9, имеющихся на вводном и выводном брусьях. Такое простое крепление трубы позволяет очень быстро устанавливать ее на стане и убирать при перевалках. В трубу вода поступает по резиновому шлангу, надеваемому на патрубок 6. Концевые отверстия трубы заглушены пробками 8.

Как видно из рис. 66, вводная арматура XVII и XIX клетей, помимо обычных вводных пропусков 3, помещенных во втулку 4, имеет в своем составе еще одно вводное устройство — направляющую воронку 2, закрепляемую четырьмя болтами 17 в лотке на входной стороне бруса. Эта воронка состоит из двух половинок, напоминающих по форме вводные пропуски (без носков), которые на заводе большей частью так и называют. Расстояние между выходным торцом воронки и приемным раструбом вводных пропусков составляет примерно 200 мм. Передний конец раската, движущийся со скоростью порядка 20 м/сек, преодолевает этот интервал по воздуху, не требуя какой-либо дополнительной поддержки. Сочетание направляющей воронки и вводных пропусков, отстоящих на значительном расстоянии друг от друга, увеличивает точность задачи раската в калибр и его устойчивость при прокатке, обеспечивая легкий доступ к поворотной втулке для ее регулировки или замены. Заметим кстати, что одним из достоинств втулочной арматуры является возможность ее быстрой замены на стане. При хорошем состоянии арматуры эта операция занимает всего несколько десятков секунд и не требует перерыва процесса прокатки.

На рис. 66 крупным планом показан узел поворотной втулки 4 с собранными в ней пропусками 3. Вводные пропуски, изго-

тавливаемые из хромистого или отбеленного чугуна, закрепляются во втулке четырьмя регулировочными болтами 15, в головках которых имеются углубления под торцовый ключ. Болты утоплены в тело втулки и не мешают ее установке в гнезде проводкового бруса. Правильность установки и регулировка положения пропусков во втулке проверяется проходным шаблоном на специальном стенде в проводочной мастерской, поэтому замена пропусков на стане сводится к простой замене собранной втулки.

Выводные трубки 12 длиной 700—750 мм закрепляются в двух опорах. При установке на стане передняя часть трубки укладывается в сегментные сухари 10, которые зажимаются стопорным болтом 5 в цилиндрическом окне бруса, после чего с помощью клина 11 окончательно фиксируется задний конец трубки. Значительная длина трубки и надежное крепление ее на брусе обеспечивают точное направление переднего конца раската в требуемом направлении, что имеет особо важное значение при прокатке мелких сечений в чистовых клетях.

На рис. 67 показан общий вид роликовой вводной проводки, которая в течение некоторого времени работала на чистовой клетке проволочного стана. По своим конструктивным особенностям эта проводка очень близка к роликовым проводкам, применяемым на сортовых станах завода (рис. 31) и является типичным представителем двухроликовых вводных проводок непрерывных станов, описывавшихся выше.

В этой конструкции оригинально решен вопрос смазки подшипников удерживающих роликов. Для уменьшения габаритов коробки и максимального приближения роликов к валкам смазка подается в сверления в осях роликов не сверху, как это обычно делается, а сбоку, через горизонтальные сверления в вилках роликодержателей. Сверления соединяются с каналами, выфрезерованными в наружных поверхностях роликодержателей и закрытыми сверху металлическими полосками. Смазка поступает в эти каналы из крупных вертикальных сверлений в хвостовых частях роликодержателей, в которые после установки проводки на стане ввинчиваются штуцера маслопровода централизованной смазочной системы.

Наблюдение за эксплуатацией первого опытного образца проводки позволило обнаружить ряд затруднений, возникающих при замене на быстроходном проволочном стане арматуры трения скольжения роликовой. При работе стана с выходной скоростью прокатки 25—27 м/сек удерживающие ролики проводки вращаются со скоростью 6000—6500 об/мин. Такая большая скорость в сочетании со значительными динамическими нагрузками и специфичными тяжелыми условиями работы подшипников роликовой арматуры отрицательно сказываются на их стойкости. Так, подшипники № 203 опытной проводки простояли всего три смены и их пришлось заменить на новые.

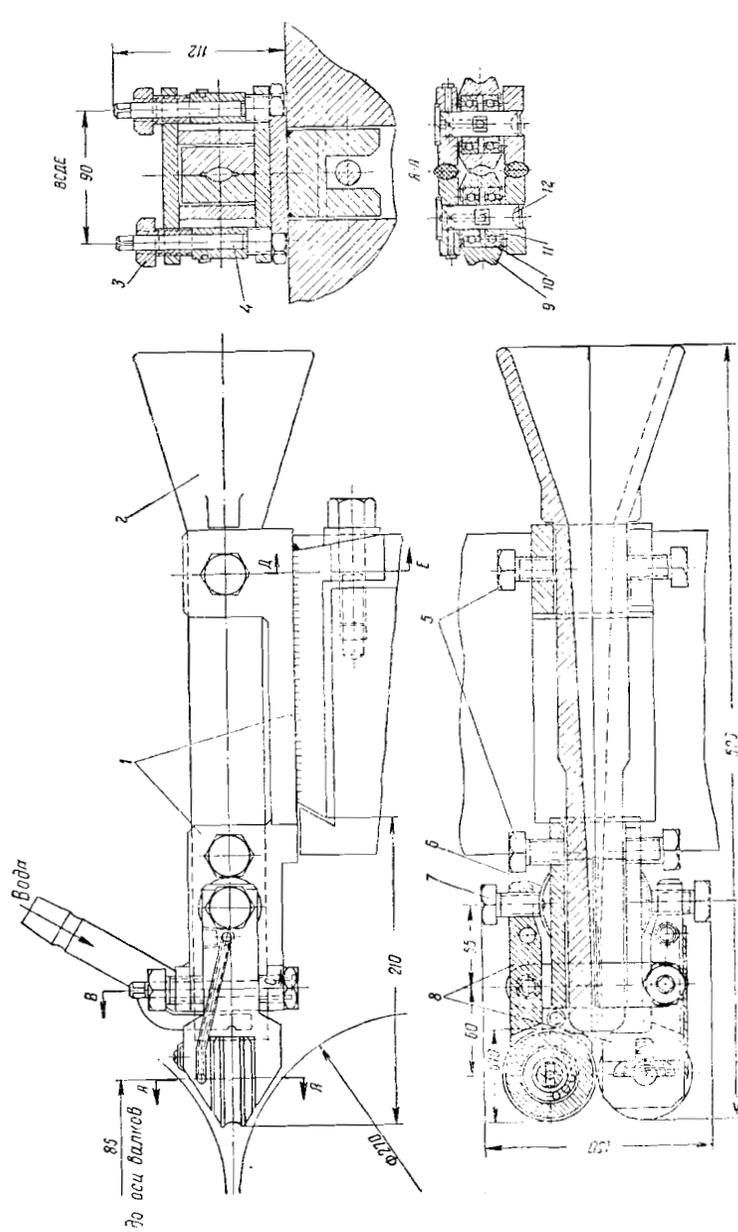


Рис. 67. Роликовая вводная проводка чистой клетки проволочного стана:
 1 — корпус проводки; 2 — направляющие пропуски; 3 — регулировочная гайка; 4 — ось роликодержателя; 5 — болты для крепления пропусков; 6 — тарельчатая пружина; 7 — регулировочный болт; 8 — роликодержатель; 9 — удерживающий ролик; 10 — шарикоуплотнитель; 11 — защитная шайба; 12 — ось ролика

Отсутствие упорных подшипников в подшипниковых опорах прокатных валков стана обуславливает осевую игру последних. В процессе работы осевое смещение одного валка может достигать 0,25—0,3 мм. Этому в известной мере способствует также несовершенная конструкция системы шпиндельных соединений.

Осевое смещение валков при прокатке приводит к искажению формы выходящего круглого профиля или даже к полному сваливанию задаваемого овального сечения в круглом калибре. При установке втулочной вводной арматуры дефекты профиля, возникающие вследствие смещения валков, в значительной мере могут быть исправлены небольшим поворотом втулки с вводными пропусками в требуемом направлении. Осуществить такой поворот сечения с помощью роликовой проводки рассматриваемой конструкции невозможно. Наклонять задаваемое сечение с помощью относительного осевого смещения удерживающих роликов также нерационально, так как это приведет к быстрому износу поверхности роликов и ненадежному удерживанию овала. Несмотря на то, что ролики проводки довольно глубоко введены в зев валков, расстояние между ними и плоскостью захвата примерно в два раза больше, чем соответствующее расстояние между плоскостью захвата и вводными пропусками. Увеличение этого расстояния при задаче мелких и гибких сечений в случае даже самого незначительного подпора приводит к изгибу свободного участка полосы между роликами и валками, в результате чего на готовом профиле появляются периодические одно-сторонние заусенцы. Это обстоятельство заставляет при установке роликовой проводки вести прокатку в чистой клетке с натяжением. Поскольку величину натяжения не всегда удастся оценить достаточно точно, это приводит к образованию некоторых дефектов на готовом профиле, которые возникают от чрезмерно большого натяжения.

Исходя из наблюдений за работой опытного образца проводки, работники завода намерены модернизировать ее конструкцию. Основные мероприятия этой модернизации должны свестись к замене принятых подшипников удерживающих роликов на более работоспособные, а также к удлинению узкого прямого участка канала направляющих пропусков 2.

Несмотря на то что общая масса комплекта проводковой арматуры, устанавливаемого на проволочном стане, почти в два раза больше, чем масса комплекта арматуры мелкосортного стана (табл. 10), удельный расход арматуры на проволочном стане несколько меньше. По данным за 1960—1962 гг., он составляет по стану в целом примерно 190 г на 1 т катанки. Более низкий удельный расход арматуры на проволочном стане объясняется меньшей долей быстрознашивающихся деталей (пропуски, проводки, трубки и др.), в общей массе комплекта арматуры составляющей немногим более 8%, вместо 12% на сортовом стане.

Масса комплектов проводковой арматуры, устанавливаемой на мелкосортном и проволочном станах

Группа клетей	Единицы измерения	Проводковые брусья	Промежуточные желоба	Петлевые столы	Выводные устройства				Роликовая арматура			Крепежные детали	Итого по стану		
					Промыски (пары)	Проводки (пары)	Трубки	Сушари к трубкам (пары)	Итого	Кантовочные ролики (пары)	Выводные проводки			Итого	
Мелкосортный стан															
Черновая	шт. кг	14 2782	6 3180	—	24 576	20 424	—	—	—	1000	1338 ²	—	1338	—	8700
Чистовая	шт. кг	32 6688	—	14 7008	24 466	—	16 88	32 336	—	890	—	4 184	184	360	15130
Всего по стану	кг	9470	3180	7008	1042	424	88	336	1890	1338	184	1522	760	23830	
Проволочный стан															
Черновая	шт. кг	14 5644	16 314	—	48 1006	56 1200	—	—	—	2206	—	—	—	575	8739
Первая средняя	шт. кг	8 1920	—	—	32 360	—	16 30	150 16	540	—	—	—	—	316	2776
Вторая средняя	шт. кг	8 1450	4 140	—	16 110	—	8 20	65,5 48	195,5	—	—	—	—	178	2063,5
Чистовая	шт. кг	32 2310	—	—	48 391	—	16 35,5	135	561,5	—	—	—	—	304	3175,5
Всего по стану	кг	11324	554	39554	1867	1200	85,5	350,5	3503	—	—	—	1373	56308	

Заканчивая рассмотрение проводковой арматуры, которой оснащены мелкосортные и проволочные непрерывные станы Криворожского металлургического завода, кратко отметим ее основные особенности. На заводе впервые в Советском Союзе и, судя по литературным данным, в мировой практике конструктивно объединены проводковая и водонаправляющая арматура. Как уже отмечалось, такое совмещение обладает рядом преимуществ по сравнению с самостоятельным подводом охлаждающей воды на прокатные валки и проводковую арматуру. Поскольку основную массу прокатного сортамента цеха составляют простые профили, прокатываемые в симметричных калибрах, весьма удачно решен вопрос жесткого крепления выводных и кантовочных проводок и труб в гнездах проводковых брусьев. Такое крепление арматуры не только упрощает ее установку, настройку и обслуживание, но также положительно сказывается на стойкости калибров прокатных валков в связи с тем, что выводные устройства не соприкасаются с валками и не срабатывают их поверхность. По сравнению с другими заводами выводная и кантовочная арматура цеха рассчитана на большую «степень свободы», что повышает стойкость этих деталей и уменьшает число неполадок и аварий, связанных с застреванием раската в проводках или выбиванием проводок. Точное направление выходящего конца полосы в следующую клеть достигается за счет увеличения длины проводок. Использование для размещения и крепления вводных пропусков и выводных проводок многоместных проводковых брусьев позволило отказаться от применения всевозможных коробок, корпусов и других аналогичных деталей, а также облегчить обслуживание арматуры, сократить время на ее установку, настройку и замену. Последнее обстоятельство проявляется особо эффективно благодаря широкой универсальности проводковой арматуры, применяемой в цехе.

14. Организация арматурного хозяйства сортопрокатного цеха

Криворожский металлургический завод пока еще является одним из немногих металлургических заводов страны, на котором основными вопросами, связанными с проводковой арматурой, ведает высококвалифицированный инженерно-технический персонал. Изучение и анализ организации арматурного хозяйства на других заводах показывают, что даже одно это обстоятельство обуславливает ряд моментов, положительно сказывающихся на технико-экономических показателях работы станков и культуре производства.

Общее техническое руководство арматурным хозяйством прокатных цехов на заводе осуществляет старший калибровщик завода. В его ведении в штате калибровочного бюро находятся инженер по арматуре и два инженера-калибровщика. Эти работ-

Примерный перечень основных работ по изготовлению и ремонту проводковой арматуры

ники бюро калибровки занимаются проектированием проводковой арматуры для всех прокатных станков и дальнейшим внедрением ее в производство, а также ведут повседневное наблюдение за эксплуатацией арматуры. Калибровочное бюро завода разрабатывает и выдает всю техническую документацию на изготовление арматуры. Оно же занимается рассмотрением и оформлением всех предложений по рационализации арматуры, поэтому без разрешения калибровочного бюро на стане запрещено устанавливать новые или измененные конструкции арматуры.

Такая организация технического руководства арматурным хозяйством особенно эффективно проявляет себя при проектировании новых и рационализации существующих калибровок и внедрении их на станках. В этом случае работы по проектированию калибровок и проводковой арматуры ведутся совместно. При горячем опробовании и последующем освоении калибровки на стане одновременно апробируется и внедряется проводковая арматура. В результате процесс освоения новой калибровки значительно упрощается, что в конечном итоге приводит к сокращению непроизводительных затрат рабочего времени, уменьшению количества брака и повышению производительности станков.

Наиболее многочисленные работы по изготовлению литых деталей проводковой арматуры выполняются по заказам прокатных цехов фасоннолитейным цехом завода. Уместно заметить, что отсутствие в этом цехе плавильных средств малой емкости не позволяет использовать для изготовления арматуры высококачественные стали и сплавы, получить которые в большегрузных плавильных агрегатах, имеющихся на заводе, затруднительно. Это обстоятельство резко снижает возможность рационального подбора материалов для изготовления арматуры и заставляет прокатчиков в ряде случаев применять арматуру низкого качества с заведомо неудовлетворительной стойкостью.

Крупные работы, связанные с механической обработкой деталей проводковой арматуры, выполняются механическим цехом завода. Все остальные работы по изготовлению и ремонту проводкового оборудования осуществляются в проводочных мастерских. Примерный перечень этих работ приведен в табл. 11.

На каждом из пяти станков цеха имеется своя отдельная проводочная мастерская. Всего по цеху в этих мастерских занято 41 человек. Мастерские оснащены металлообрабатывающими станками и другим оборудованием и инструментом (табл. 12). Бригадир-арматурщик, выполняющий функции руководителя мастерской, непосредственно подчиняется старшему мастеру стана. Он поддерживает оперативную связь с работниками стана, в частности со сменными мастерами, и отвечает за своевременную и качественную подготовку арматуры к установке на стане. Кроме этого, он обязан следить за общим состоянием, правильностью эксплуатации и хранения арматуры. Бригадир-арматурщик совместно со старшим мастером стана составляет

Наименование деталей арматуры	Характер и содержание работ	Исполнители
Промежуточные желоба и петлевые столы	Изготовление: литье, строжка, фрезеровка, сверловка и др. механическая обработка. Ремонт: правка, электроплавка, электросварка, зачистка	Фасоннолитейный и механический цехи завода (ОГМ) Проводочные мастерские
Проводковые брусья	Изготовление: литье, строжка, фрезеровка, сверловка, долбежка, расточка и др. Ремонт: правка, электронаплавка, электросварка, зачистка, автогенные работы	Фасоннолитейный и механический цехи завода (ОГМ) Проводочные мастерские станков
Кантовальные ролики (узлы)	Изготовление: литье, поковка, строжка, фрезеровка, токарная обработка, долбежка, расточка, электросварка и др. механическая обработка. Ремонт: электронаплавка и переточка роликов, восстановление и замена мелких деталей	Фасоннолитейный, кузнечный, механический (ОГМ) и вальцетокарный цехи завода Проводочные мастерские, вальцетокарный цех, механическая мастерская прокатного цеха
Вводные пропуски, втулки, касеты	Изготовление: литье, зачистка и обдирка на наждачном точиле, строжка рабочих поверхностей, планировка внешних поверхностей, шлифовка рабочих канавок. Сборка в кассетах на стендах. Ремонт: электронаплавка, зачистка, строжка, перешлифовка рабочих канавок на другой размер, сборка в кассетах (подгонка и настройка по шаблону)	Фасоннолитейный цех (ОГМ), проводочные мастерские станков
Выводные и кантовальные проводки	Изготовление: литье, зачистка и обдирка на наждачном точиле, строжка рабочих поверхностей, планировка внешних поверхностей, шлифовка рабочих канавок. Ремонт: электронаплавка, зачистка, строжка, перешлифовка рабочих канавок по шаблону	Фасоннолитейный цех (ОГМ), проводочные мастерские станков Проводочные мастерские цеха
Вводные роликовые проводки	Изготовление: литье, поковка, токарная обработка, расточка, сверловка, фрезеровка, строжка деталей проводки, сборка и настройка проводки. Ремонт: восстановление и ремонт мелких быстрознашивающихся деталей. Разборка, ревизия и сборка проводок на стендах	Фасоннолитейный, кузнечный и механический цехи завода (ОГМ). Проводочные мастерские сортовых станков Проводочные мастерские сортовых станков

Продолжение табл. 11

Наименование деталей арматуры	Характер и содержание работ	Исполнители
Крепежные детали (болты, гайки, клинья, сухари, траверсы и др.)	Изготовление: ковка, строжка, фрезеровка, токарная обработка. Ремонт: мелкие токарные и ручные слесарные работы	Механический и кузнечный цехи завода (ОГМ). Механические и проводочные мастерские станков

Таблица 12

Штаты и основное оборудование проводочных мастерских

Профессия	Количество работающих	Основное оборудование	Количество шт.
Непрерывный мелкосортный стан 250			
Бригадир-арматурщик	1	Поперечно-строгальный станок	1
Строгальщик	1	Вертикально-сверлильный станок	1
Электросварщик	1	нок	1
Сменный слесарь-проводчик	4	Обдирочно-точильный станок	1
		Ручная пневматическая шлифовальная машина	1
Непрерывный проволочный стан 250			
Бригадир-арматурщик	1	Плоско-шлифовальный станок	1
Шлифовальщик	2	Поперечно-строгальный станок	1
Строгальщик	1	Обдирочно-точильный станок	1
Электрогазосварщик	1	Ручная пневматическая шлифовальная машина	1
Слесарь по ремонту ножниц	1		
Сменный слесарь-проводчик	4		

заявки-заказы на изготовление и поставку деталей арматуры цехами завода. В его обязанности входит пополнение нормального оборотного запаса деталей арматуры, вследствие чего он поддерживает тесный контакт с фасоннолитейным, механическим и кузнечным цехами завода, следит за своевременным изготовлением и доставкой деталей этими цехами.

Текущее обслуживание арматурного хозяйства на стане осуществляется смешными слесарями-проводчиками. Они участвуют в перевалках валков и в профилактических ремонтах, помогают вальцовщикам устанавливать и настраивать арматуру. Помимо этого, проводчики выполняют по указанию бригадира общие работы по проводочной мастерской.

Закрепление проводочных мастерских за отдельными прокатными станами не позволяет рационально использовать мощности имеющегося станочного оборудования и организовать нормальную его эксплуатацию. Кроме того, несмотря на большое общее

количество металлообрабатывающих станков, проводочные мастерские все же не могут обходиться без услуг механического цеха завода по изготовлению целого ряда деталей проводочной арматуры, требующих токарной или фрезерной обработки. Для более полного использования станочного парка и частичного его сокращения, а также для расширения номенклатуры, улучшения качества деталей и совершенствования конструкций проводочного оборудования завод решил организовать при сортопрокатном цехе единую централизованную проводочную мастерскую. По мнению завода, такая мастерская должна быть укомплектована станочным оборудованием и механизированным инструментом, перечень которого приведен в табл. 13.

Таблица 13

Перечень оборудования и механизированного инструмента централизованной проводочной мастерской

Наименование	Количество шт.
Поперечно-строгальный станок, модель 736	2
Продольно-строгальный станок с длиной стола до 2 м	1
Токарно-винтовой станок, модель 1А63, РМЦ-1500	1
Радиально-сверлильный станок, диаметром 50 мм	1
Плоско-шлифовальный станок, модель 372Б	1
Спецстанок для геликоидальной установки, модель МШ-90	1
Обдирочно-точильный станок, модель 3М 366	3
Настольно-точильный станок, тип ЭЭС-2, диаметром 12	1
Универсально-фрезерный станок, модель 679	1
Ручная шлифовальная машинка ШР-2	10
Наплавочная головка	1
Сварочный аппарат	2
Электрическая кран-балка, $Q = 3 \text{ т}$	1
Автогрузчик	1
Комплект оборудования для борирования и термообработки провадок, пропусков и роликов	1

Проводочная мастерская должна располагаться на территории вальцетокарного цеха. Мастерскую предполагается разделить на станочное, шлифовальное и слесарное отделения, с помещением для борирования и термообработки деталей арматуры.

Строительство централизованной проводочной мастерской взамен отдельных мастерских на существующих прокатных станах, а также предусмотренных в утвержденных типовых проектах для проектирования новых станков, позволит высвободить по меньшей мере 24 рабочих. По предварительным заводским расчетам, экономическая эффективность этого мероприятия составит примерно 45 тыс. руб. в год с полной окупаемостью в течение одного года. В настоящее время завод передал свои соображения и материалы для проектирования в Днепропетровский Гипромез, выполняющий проектные работы по реконструкции прокатных цехов Криворожского металлургического завода.

Глава V

ТЕОРИЯ КАНТОВАНИЯ ГОРЯЧЕГО РАСКАТА СКРУЧИВАНИЕМ

15. Постановка задачи

Кантование раскатов, находящихся одновременно в двух (или более) клетях прокатного стана, осуществляется скручиванием. Так кантуется раскат в непрерывно-заготовочных станах, черновых и чистовых группах клетей сортовых и проволочных непрерывных станов, в линейных станах, работающих с обводными аппаратами. Скручивание имеет место при сваливании валками раскатов, удерживаемых вводными проводками.

При высоких скоростях прокатки и близком расположении клетей, что характерно для современных непрерывных станов и в значительной мере для линейных станов, оборудованных обводками, деформация металла и действующие на арматуру усилия достигают значительных величин. Совершенно очевидно, что знание величин этих усилий крайне необходимо как для расчета и конструирования проводковой арматуры, так и для правильной ее эксплуатации. Знание силового взаимодействия между скручиваемым раскатом и деталями прокатного оборудования представляет определенный интерес при проектировании новых прокатных станов, выборе станových двигателей и конструировании некоторых деталей прокатных клетей.

До последнего времени все расчеты, связанные со скручиванием раскатов при горячей прокатке, т. е. при температурах, превышающих температуру рекристаллизации металла, основываются на использовании аналогии Надаи* [65]. При этом предполагается, что скручиваемый образец является абсолютно пластичным телом, у которого величина напряжений не зависит от степени деформации, а диаграмма $\tau - \gamma$ имеет вид, изображенный на рис. 68.

Такое допущение несколько упрощает расчеты, но справедливо только для малых (так называемых нулевых) скоростей деформации, когда рекристаллизация полностью протекает во время деформации. Работы последнего времени [66—69 и др.] убедительно показывают, что увеличение скорости деформации

существенно повышает сопротивление деформации образцов из различных марок стали. Совершенно естественно предположить, что повышение сопротивления деформации вызвано упрочнением металла во время деформации. Степень упрочнения зависит, с одной стороны, от скорости деформации и, с другой стороны, от скорости рекристаллизации металла данного состава при определенных температуре и степени деформации. Такое предположение позволяет объяснить известное из практики изменение величины момента сопротивления скручиванию горячего металла от угла закручивания и длины скручиваемого участка.

Попыток учесть эффект упрочнения материала при деформации скручивания, т. е. решить задачу о кручении стержней, материал которых не является идеально пластичным, довольно много [70—72 и др.]. Большая часть этих решений носит чисто теоретический характер [70] и сводится к составлению дифференциальных уравнений для напряжений при принятии того или иного (в большинстве случаев степенного) закона упрочнения. Не касаясь значимости таких работ для теории упруго-пластических деформаций, можно отметить, однако, что отсутствие конечных выражений для определения напряжений не позволяет применить эти решения в практических инженерных расчетах.

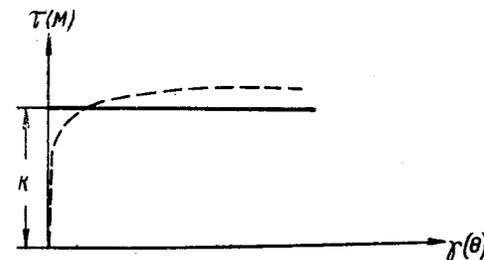


Рис. 68. Диаграмма $\tau - \gamma$ абсолютно пластичного тела

Помимо этого, известно несколько работ [71, 72], в которых приводятся конечные формулы для моментов и напряжений, возникающих при скручивании стальных образцов из упрочняющегося материала. Выражение для момента сопротивления кручению и вытекающая из него формула для определения касательного напряжения в наружном слое образца, приведенные в работе Е. Н. Мошниной и Д. И. Бережковского [71], даже в наиболее общей записи справедливы лишь при кручении образцов с сечением в форме круга. Несмотря на то что это обстоятельство не оговаривается при выводе формул, оно, по-видимому, имеется в виду, поскольку в дальнейшем авторы [71] рассматривают только кручение круглых стержней.

М. Я. Бровман и Р. М. Шпигельман [72] пытаются решить задачу о пластическом кручении стержней из упрочняющегося материала в более общей постановке, используя методы теории упруго-пластических деформаций. Принимая линейный закон упрочнения, записываемый как

$$\tau = G_1(\gamma - \gamma_T) + \tau_T,$$

* Имеется в виду аналогия с кучей песка.

авторы [72] совершенно необосновано полагают, что в области пластических деформаций

$$\tau_{yz} = G_1 \gamma_{yz}$$

$$\tau_{xz} = G_1 \gamma_{xz}$$

где G_1 — модуль упрочнения;

τ_T — предел текучести при кручении;

γ_T — соответствующий сдвиг.

Выражая таким образом компоненты напряжений через модуль упрочнения и относительный сдвиг, М. Я. Бровман и Р. М. Шпигельман тем самым отказываются от принятого ими ранее закона упрочнения материала при кручении и приходят к общей диаграмме τ — γ упругого кручения. Принятие такой зависимости для пластического скручивания образцов ни в какой мере не согласуется ни с известными опытными данными, ни с принятыми теоретическими схемами. Естественно, что результаты дальнейших выкладок вследствие этого также получаются неверными.

Таким образом, в настоящее время не имеется конечных формул или каких-либо иных методов для практического определения моментов и усилий, возникающих при скручивании стержней из пластического материала, обладающего упрочнением. Исключения составляют стержни с поперечным сечением в форме круга или кругового кольца, для которых эти величины могут быть найдены с помощью непосредственных вычислений.

16. Общее решение задачи о кручении пластических стержней при линейном законе упрочнения

Как известно [73], при деформации материала, обладающего упрочнением, простое нагружение не имеет места, однако в случае такого простого напряженного состояния, которое наблюдается при скручивании цилиндрических или призматических стержней (чистый сдвиг), отклонения будут небольшими¹. Это позволяет использовать для решения задачи уравнения теории упруго-пластических деформаций.

Если предположить, что весь объем скручиваемого стержня находится в пластическом состоянии, а материал обладает упрочнением, то величина вектора суммарного напряжения², действующего в любой точке тела, может быть представлена как

$$\tau = k + \tau_{II}, \quad (V,1)$$

¹ Сохраняется подобие девятатора напряжения, но изменяются направления главных осей.

² Принимается, что при свободном кручении (чистый сдвиг) в поперечных сечениях скручиваемого стержня действуют только касательные напряжения.

где τ — напряжение в любой точке стержня;

k — предел текучести при сдвиге;

τ_{II} — увеличение предела текучести за счет упрочнения материала.

Как показывают опыты, в первом приближении зависимость между величиной напряжения (скручивающего момента) и степенью деформации (относительным углом закручивания) может быть принята в виде прямой линии, угол наклона которой определяется способностью материала к упрочнению (рис. 69), а величина отрезка, отсекаемого на оси ординат — пределом текучести при сдвиге. Тангенс угла наклона прямой напряжений к горизонтали по аналогии с упругим состоянием может быть назван модулем упрочнения (Π). Тогда равенство (V,1) запишется как

$$\tau = k + \Pi \gamma. \quad (V,2)$$

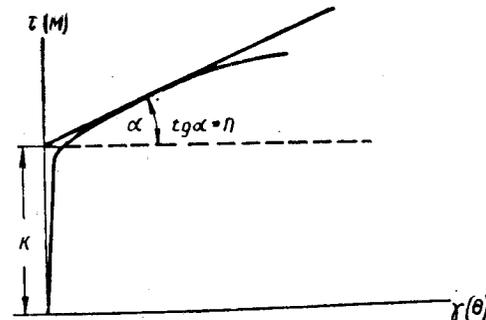


Рис. 69. Опытная зависимость τ — γ , аппроксимированная прямой

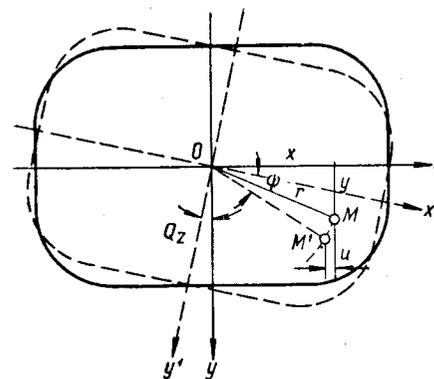


Рис. 70. Поворот сечения призматического стержня при скручивании

нутся друг относительно друга на некоторый угол φ , пропорциональный расстоянию между этими сечениями, т. е.

$$\varphi = \theta L. \quad (V,3)$$

Здесь θ представляет угол, на который поворачиваются относительно друг друга два поперечных сечения, находящиеся на расстоянии, равном единице.

Согласно (V, 3), в месте заделки $L = z = 0$ и, следовательно, $\varphi = 0$, а в рассматриваемом сечении $\varphi = z$. Пусть u , v и w — перемещения точки $M(x, y, z)$ относительно ее начального положения, параллельные координатным осям. Тогда $u = -r\theta z \sin \psi$ или, поскольку $\sin \psi = \frac{y}{r}$,

$$\left. \begin{aligned} u &= -\theta yz, \\ v &= \theta xz, \\ w &= w(x, y, \theta). \end{aligned} \right\} \quad (V,4)$$

Здесь $w(x, y, \theta)$ — неизвестная функция, определяющая деформацию поперечного сечения, т.е. проекцию перемещения точки M на ось z . Эта функция должна быть определена так, чтобы удовлетворялись основные уравнения и граничные условия задачи о кручении.

Следует иметь в виду, что в уравнениях (V, 4) $\theta = \theta(t)$, т.е. относительный угол закручивания в процессе кручения изменяется со временем и при решении задачи необходимо учитывать не только степень, но и скорость деформации.

Пользуясь формулами Коши, компоненты деформаций можно выразить через перемещения следующим образом.

$$\begin{aligned} \varepsilon_x &= \frac{\partial u}{\partial x}; \\ \varepsilon_y &= \frac{\partial v}{\partial y}; \\ \varepsilon_z &= \frac{\partial w}{\partial z}; \\ \gamma_{xy} &= \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y}; \\ \gamma_{xz} &= \frac{\partial w}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial z}; \\ \gamma_{yz} &= \frac{\partial w}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial z}. \end{aligned}$$

В нашем случае, имея в виду (V, 4)

$$\left. \begin{aligned} \varepsilon_x = \varepsilon_y = \varepsilon_z &= 0 \\ \gamma_{xy} &= \theta[z + (-z)] = 0; \\ \gamma_{xz} &= \theta \left(\frac{\partial w}{\partial x} - y \right); \\ \gamma_{yz} &= \theta \left(\frac{\partial w}{\partial y} + x \right), \end{aligned} \right\} \quad (V,5)$$

т.е. первоначально плоская поперечная поверхность стержня после деформации искажается, и форма этой новой поверхности определяется функцией $w(x, y, \theta)$.

В соответствии с допущением Сен-Венана примем нормальные напряжения в плоскостях, параллельных координатным плоскостям, равными нулю¹.

$$\sigma_x = \sigma_y = \sigma_z = 0.$$

Далее примем, что касательные напряжения в любых вертикальных плоскостях (параллельных оси z), направленные горизонтально, также равны нулю, а поэтому

$$\tau_{xy} = \tau_{yx} = 0.$$

Принятые допущения позволяют известные общие выражения дифференциальных уравнений равновесия представить (если пренебречь объемными силами) в следующем виде:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial z} = 0; \quad \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial z} = 0; \\ \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial y} = 0. \end{aligned} \right\} \quad (V,6)$$

Первые два из этих уравнений показывают, что распределение напряжений не зависит от координаты z , а следовательно, оно одинаково для всех поперечных сечений бруса. Однако в каждом поперечном сечении распределение напряжений должно удовлетворять третьему уравнению²

$$\frac{\partial \tau_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_y}{\partial y} = 0. \quad (V,6')$$

Для того чтобы выразить деформации через напряжения, предположим, что в рассматриваемой точке сечения $M(x, y, z)$ действует суммарное касательное напряжение τ , которое согласно (V, 2) выражается как $\tau = k + \Pi\gamma$. Как видно из рис. 71, компоненты этого напряжения могут быть записаны следующим образом:

$$\begin{aligned} \tau_x &= \tau \cos \beta = (k + \Pi\gamma) \cos \beta, \\ \tau_y &= \tau \sin \beta = (k + \Pi\gamma) \sin \beta \end{aligned}$$

или, поскольку

$$\begin{aligned} \gamma_x &= \gamma \cos \beta \text{ и} \\ \gamma_y &= \gamma \sin \beta, \end{aligned}$$

¹ В самом деле, нет никаких оснований предполагать, что внутренняя часть бруса, вращаясь, будет стремиться двинуться относительно внешней его части.

² Здесь и в дальнейшем вместо τ_{xz} и τ_{yz} , а также γ_{xz} и γ_{yz} будут употребляться более простые обозначения τ_x , τ_y , γ_x , γ_y .

$$\left. \begin{aligned} \tau_x &= k \cos \beta + \Pi \gamma_x, \\ \tau_y &= k \sin \beta + \Pi \gamma_y. \end{aligned} \right\} \quad (V,7)$$

Подставляя в полученные равенства выражения для γ_x и γ_y из (V, 5), получим

$$\left. \begin{aligned} \tau_x &= k \cos \beta + \Pi \theta \left(\frac{\partial w}{\partial x} - y \right); \\ \tau_y &= k \sin \beta + \Pi \theta \left(\frac{\partial w}{\partial y} + x \right). \end{aligned} \right\} \quad (V,8)$$

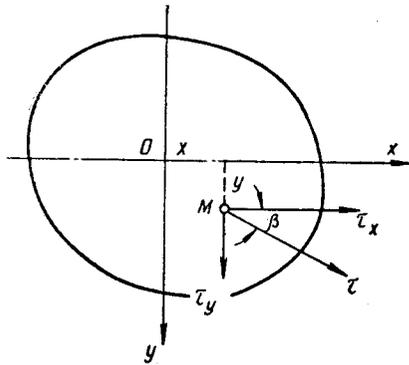


Рис. 71. Компоненты касательного напряжения в сечении скручиваемого стержня

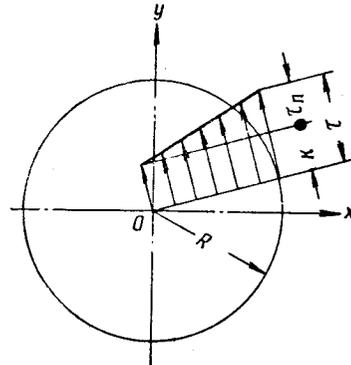


Рис. 72. Эпюра распределения напряжений по сечению скручиваемого стержня

Продифференцируем равенство (V, 8) по y и x и вычтем из первого второе

$$\frac{\partial \tau_x}{\partial y} - \frac{\partial \tau_y}{\partial x} = k \frac{\partial}{\partial y} \cos \beta - k \frac{\partial}{\partial x} \sin \beta - 2\Pi\theta. \quad (V,9)$$

Последнее уравнение показывает, что в каждой точке поперечного сечения стержня компоненты напряжений должны удовлетворять не только уравнению равновесия (V, 6'), но и равенству (V, 9).

Из рис. 71 также видно, что $\sin \beta$ и $\cos \beta$ могут быть выражены через τ_x и τ_y , а уравнение (V, 9) записано в виде

$$\frac{\partial \tau_x}{\partial y} - \frac{\partial \tau_y}{\partial x} = \frac{k}{(\tau_x^2 + \tau_y^2)^{3/2}} \left[\frac{\partial \tau_x}{\partial y} \tau_y^2 + \left(\frac{\partial \tau_x}{\partial x} - \frac{\partial \tau_y}{\partial y} \right) \tau_x \tau_y - \frac{\partial \tau_y}{\partial x} \tau_x^2 \right] - 2\Pi\theta. \quad (V,9')$$

Полученная система уравнений (V, 6') и (V, 9') при известных контурных условиях должна иметь одно определенное решение.

Используя обычный прием, применяемый при решении системы уравнений такого вида, введем функцию напряжений $F(x, y, k, \theta)$ так, чтобы

$$\left. \begin{aligned} \tau_x &= \frac{\partial F}{\partial y}; \\ \tau_y &= -\frac{\partial F}{\partial x}. \end{aligned} \right\} \quad (V,10)$$

При этом уравнение равновесия (V, 6') удовлетворяется тождественно, а уравнение (V, 9') выражается через функцию напряжений следующим образом:

$$\frac{\partial^2 F}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 F}{\partial y^2} = \frac{k}{\left[\left(\frac{\partial F}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial F}{\partial y} \right)^2 \right]^{3/2}} \left\{ \frac{\partial^2 F}{\partial x^2} \left(\frac{\partial F}{\partial y} \right)^2 - \right. \\ \left. - 2 \frac{\partial^2 F}{\partial x \partial y} \cdot \frac{\partial F}{\partial x} \cdot \frac{\partial F}{\partial y} + \frac{\partial^2 F}{\partial y^2} \left(\frac{\partial F}{\partial x} \right)^2 \right\} - 2\Pi\theta. \quad (V,11)$$

С целью проверки правильности вывода полученного основного уравнения (V, 11) исследуем его при крайних значениях входящих параметров k и θ .

1. При $k = 0$ распределение напряжений в сечении скручиваемого стержня отличается от идеально упругой схемы (рис. 69) только величиной тангенса угла наклона кривой деформации, зависящей от величины модуля упрочнения Π . Основное уравнение (V, 11) при этом превращается в известное уравнение для функции напряжений упругой задачи

$$\frac{\partial^2 F}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 F}{\partial y^2} = -2\Pi\theta,$$

в котором модуль упругости G заменен на Π .

2. Рассматривая кручение без упрочнения ($\Pi = 0$), мы приходим к идеально пластичной схеме деформации (рис. 68). В этом случае напряжения не зависят от деформации, а компоненты напряжения связаны следующей зависимостью:

$$\tau_x^2 + \tau_y^2 = \left(\frac{\partial F}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial F}{\partial y} \right)^2 = k^2.$$

Для того чтобы определить граничные условия, которым $F(x, y)$ должна удовлетворять на контуре сечения, следует иметь в виду, что результирующее касательное напряжение τ в каждой точке контура поперечного сечения не должно иметь составляющей, перпендикулярной контуру, т. е. τ должно быть направлено по касательной к контуру поперечного сечения стержня.

Пусть $y = f(x)$ — уравнение контура. Тогда вдоль контура должно удовлетворяться равенство

$$\frac{\tau_y}{\tau_x} = \frac{dy}{dx} = f'(x), \quad (V,12)$$

выражающее, что τ направлено по касательной к кривой $y = f(x)$. Подставляя в (V,12) значения τ_x и τ_y из (V,10), получим

$$\frac{\partial F}{\partial x} dx + \frac{\partial F}{\partial y} dy = 0. \quad (V,13)$$

Так как нас интересуют только первые производные функции F , которые определяют составляющие напряжения τ , то на основании (V,13) можно положить $F = 0$ на односвязном контуре. Итак, $F = 0$ на контуре $y = f(x)$.

Рассуждения, аналогичные предыдущим, показывают, что вообще вектор напряжения (τ_x, τ_y) в любой точке поперечного сечения будет касательным к линии $F = \text{const}$, проходящей через эту точку. Поэтому линия $F = \text{const}$ будет линией напряжения.

Таким образом, задача сводится к нахождению вида функции $F(x, y, k, \theta)$, удовлетворяющей уравнению (V,11) и обращающейся в нуль на контуре поперечного сечения скручиваемого бруса. Если функция F найдена, то напряжения определяются из равенств (V,10), а деформация — из равенств (V,7); интегрируя далее уравнение (V,8), можно определить депланацию w поперечного сечения с точностью до постоянного слагаемого. Момент сопротивления поперечного сечения скручиванию, как легко показать, равен удвоенному двойному интегралу от функции напряжений F , взятому по всей площади поперечного сечения скручиваемого стержня, т. е.

$$M = 2 \iint_{(D)} F dx dy.$$

В качестве примера рассмотрим брус, имеющий круглое поперечное сечение радиуса R . Уравнение контура поперечного сечения в этом случае, как известно, записывается в виде $R^2 = x^2 + y^2$. Примем функцию напряжений в виде

$$F = -\frac{1}{2} \Pi \theta (x^2 + y^2) - k \sqrt{x^2 + y^2} + \frac{1}{2} \Pi \theta R^2 + kR.$$

Очевидно, что на контуре сечения функция напряжений F обращается в нуль, и следовательно, контурные условия задачи выполняются.

Подстановка F в основное уравнение (V,11) обращает его в тождество, т. е. удовлетворяется и основное уравнение совместности, выраженное через функцию напряжений, и задача может считаться решенной.

Величина компонентов напряжений в любой точке поперечного сечения бруса может быть определена по формулам (V,10)

$$\begin{aligned} \tau_x &= \frac{\partial F}{\partial y} = -k \frac{y}{\sqrt{x^2 + y^2}} - \Pi \theta y; \\ \tau_y &= -\frac{\partial F}{\partial x} = k \frac{x}{\sqrt{x^2 + y^2}} + \Pi \theta x, \end{aligned}$$

а величина суммарного напряжения, действующего в точке, — из известного соотношения

$$\tau = \sqrt{\tau_x^2 + \tau_y^2} = k + \Pi \theta \sqrt{x^2 + y^2}.$$

Максимальная величина касательного напряжения, действующего на поверхности стержня, определится как $\tau_{\text{max}} = k + \Pi \theta R$. Эпюра распределения напряжений по сечению стержня приведена на рис. 72.

Депланация поперечного сечения может быть найдена из соотношений (V,8), откуда следует, что

$$\frac{\partial w}{\partial x} = 0; \quad \frac{\partial w}{\partial y} = 0, \quad \text{а } w = \text{const}.$$

Иными словами, депланация поперечного сечения отсутствует, т. е. первоначально плоские поперечные сечения остаются плоскими и после деформации.

Деформации (сдвиги) определяются из равенств (V,5)

$$\begin{aligned} \gamma_x &= \theta \left(\frac{\partial w}{\partial x} - y \right) = -\theta y; \\ \gamma_y &= \theta \left(\frac{\partial w}{\partial y} + x \right) = \theta x; \\ \gamma &= \sqrt{\gamma_x^2 + \gamma_y^2} = \theta \sqrt{x^2 + y^2}; \\ \gamma_{\text{max}} &= \theta R. \end{aligned}$$

Момент сопротивления скручиванию может быть определен как

$$M = 2 \iint F dx dy = \frac{2}{3} \pi k R^3 + \frac{1}{2} \pi \Pi \theta R^4 = M_k + M_{\Pi}, \quad (V,14)$$

откуда следует, что при пластическом кручении стержня, материал которого обладает упрочнением, момент сопротивления скручиванию выражается суммой моментов — момента от чисто пластического скручивания (M_k) и момента, возникающего за счет упрочнения материала (M_{Π}).

№ 21 и 34, строились векторы k и τ_{II} , которые находились соответственно из пластического и упругого (при $G = \Pi$) решений. В качестве масштаба для этих векторов было принято равенство $k = \tau_{II \max}$.

При идеально пластичном распределении напряжений траектории напряжений представляют собой кривые, эквидистантные контуру. Поэтому в любой точке сечения вектор касательного напряжения k откладывался как перпендикуляр к прямой, проходящей через эту точку нормально к контуру. Численная величина этого вектора постоянна и в расчете принята равной 4 условным единицам, т. е. $k = 4$.

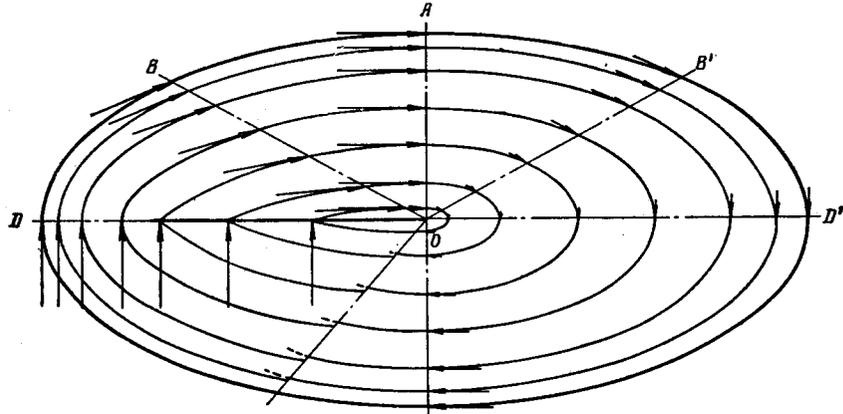


Рис. 74. Траектории напряжений при упругом (правая половина) и пластическом (левая половина) кручении стержня с эллиптическим сечением

Распределение напряжений при кручении стержня из идеально упругого материала характеризуется траекториями напряжений, имеющими вид эллипсов, подобных контуру.

Для наглядного сопоставления характера распределения напряжений на рис. 74 изображено эллиптическое сечение, на котором нанесены траектории напряжений при идеально упругом (правая половина) и идеально пластичном (левая половина) кручении стержня. Из рисунка видно, что на контуре и осях сечения траектории напряжений (а следовательно, и направления векторов напряжений) совпадают. В эквивалентных промежуточных сечениях (например, OB и OB') направления векторов напряжений различны, причем расхождение увеличивается по мере приближения к центру.

Для определения величины и направления вектора τ_{II} в расчете использовались известные [74] соотношения для составляющих касательных напряжений упругой задачи.

$$\tau_x = -2\Pi\theta \frac{a^2}{a^2 + b^2} y;$$

$$\tau_y = 2\Pi\theta \frac{b^2}{a^2 + b^2} x.$$

Имея в виду, что $\tau_{II \max} = k = \tau_{x \max}$ и полагая для упрощения вычислений $b = 1$ и $\theta = 1$ (условные единицы), получаем простые расчетные выражения для τ_x и τ_y

$$\tau_x = -4y; \tau_y = x,$$

с помощью которых и находились величина и направление вектора τ_{II} .

Затем геометрическим суммированием векторов k и τ_{II} строился результирующий вектор τ' (рис. 73). Абсолютная величина погрешности при этом определялась как алгебраическая разность $\tau - \tau'$, а относительная — находилась из соотношения $\Delta = \frac{\tau - \tau'}{\tau} \cdot 100\%$. Как видно из табл. 16, наибольшее значение этой погрешности достигает величины 5,22% (точка № 25) и находится вблизи большой оси эллипса на расстоянии, равном примерно $\frac{1}{2}a$. На контуре и осях эллипса Δ уменьшается до нуля.

Далее графическим методом находились величины плеч векторов τ и τ' . Момент сопротивления кручению, согласно предлагаемой методике, вычисляли как $4\sum_{i=1}^{i=40} \tau'_i l_i$, а величина общей ошибки определялась как разность

$$\sum_{i=1}^{i=40} \tau_i l_i - \sum_{i=1}^{i=40} \tau'_i l_i = \delta.$$

Расчет показал, что в данном примере при вычислении момента сопротивления кручению общая относительная ошибка составляет всего 0,95%. При относительных углах закручивания, имеющих место в практике прокатки обычных профилей, отношение $\frac{\tau_{II \max}}{k}$ бывает обычно меньше единицы, вследствие чего общая погрешность метода должна уменьшиться.

Учитывая сказанное, представляется возможным предложить для практического использования конечные формулы для определения величин моментов сопротивления пластическому скручиванию с учетом температуры, скорости и степени деформации. Эти формулы, как уже отмечалось, получены путем суммирования известных выражений для моментов сопротивления идеально упругого и пластического кручения.

1. Для круглого сечения радиуса R

$$M = \frac{2}{3} \pi k R^3 + \frac{1}{2} \pi \Pi \theta R^4. \quad (V, 14)$$

2. Для овального сечения (эллиптической формы) с полуосями $a > b$ при условии, что $a \leq 2b$

$$M \approx \frac{2}{3} \pi k a^3 \left[\frac{1}{16m^3} (m^3 - 9m^2 + 39m - 15) \right] + \pi \Pi \theta \frac{a^3 b^3}{a^2 + b^2}. \quad (V, 15)$$

Здесь $m = \frac{a}{b}$. При $m = 1$ и $a = R$ эта формула превращается в формулу для круга (V, 14). Для упрощения расчетов

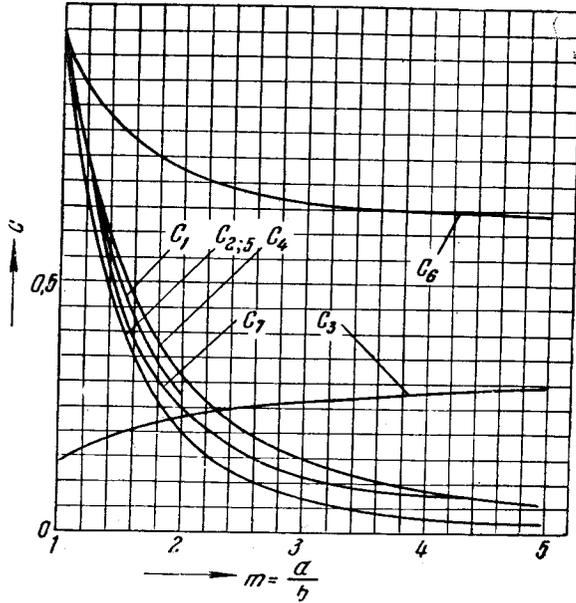


Рис. 75. График для определения коэффициента формы

последнее выражение (V, 15) можно представить в виде

$$M \approx \frac{2}{3} \pi k a^3 c_1 + \frac{1}{2} \pi \Pi \theta a^4 c_2, \quad (V, 15')$$

где c_1 и c_2 — числовые коэффициенты, зависящие от величины m , могут быть взяты из графика рис. 75.

3. Для сечения в форме однорадиусного овала с размерами $R > a_1 > b^*$

$$M \approx (1 + 0,9) \frac{2}{3} \pi k a_1^3 c_7 + \frac{1}{2} \pi \Pi \theta a^4 c_2, \quad (V, 16)$$

* Вывод формулы (V, 16) приведен в следующем разделе.

где

$$m = \frac{a_1}{b};$$

$$a = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{2a_1}{m} \left[m \left(2a_1 - \frac{s^2}{2a_1} \right) - s(m^2 - 1) \right]}; \quad (V, 16)$$

s — зазор между валками. При $m = 1$ коэффициент, стоящий в скобках перед первым слагаемым, равен 1, $a_1 = a$ и выражение (V, 16) превращается в формулу для круга (V, 14).

4. Для квадратного сечения со стороной $2a$

$$M \approx \frac{1}{3} k (2a)^3 + 0,1406 \Pi \theta (2a)^4. \quad (V, 17)$$

5. Для прямоугольного сечения со сторонами $2a > 2b$

$$M \approx \frac{4}{3} k b^2 (3a - b) + c_3 \Pi \theta (2a) (2b)^3 \quad (V, 18)$$

или

$$M \approx \frac{1}{3} k (2a)^3 \cdot c_4 + 0,1406 \Pi \theta (2a)^4 c_5. \quad (V, 18')$$

Здесь c_3, c_4, c_5 — числовые коэффициенты, которые могут быть взяты из табл. 15 или графика рис. 75. При $a = b$ формулы (V, 18) и (V, 18') превращаются в предыдущую формулу для квадратного сечения.

Таблица 14

Значения коэффициента c_3 в формуле (V, 18) для различных значений отношений m [74]

m	1	1,2	1,5	2	2,5	3	4	5	∞
c_3	0,1406	0,166	0,196	0,229	0,249	0,263	0,281	0,291	0,333

Имея выражения для моментов, нетрудно, пользуясь обычными соотношениями, найти силы, приложенные к скручиваемой полосе, и мощность, затрачиваемую на ее скручивание:

$$P = \frac{M}{h}; \quad (V, 19)$$

$$N = M\omega = M\theta v. \quad (V, 20)$$

В этих формулах

P — сила кантования полосы;

h — плечо действия силы P ;

N — мощность, расходуемая на скручивание;

ω — угловая скорость скручивания;

v — скорость движения раската.

18. Формулы для определения моментов сопротивления кручению идеально пластичных стержней с овальными поперечными сечениями

Как уже отмечалось, в настоящее время все расчеты, связанные со скручиванием раскатов при горячей прокатке, основываются на использовании аналогии Надаи [65]. Согласно этой аналогии, момент пластического кручения M_k может быть определен как удвоенный объем кучи песка, имеющей основание в форме поперечного сечения стержня, подвергаемого кручению. Тангенс угла естественного откоса этой кучи должен равняться по величине пределу текучести при сдвиге k .

С использованием аналогии Надаи получены известные формулы для определения момента сопротивления кручению идеально пластичных стержней с поперечным сечением в форме круга [$M_k = \frac{2}{3} \pi k R^3$], в форме квадрата [$M_k = \frac{1}{3} k (2a)^3$], в форме прямоугольника [$M_k = \frac{4}{3} k b^2 (3a - b)$]; ромба [$M_k = \frac{1}{3} k \frac{a^2 b^2}{\sqrt{a^2 + b^2}}$] и некоторых других простых сечений, встречающихся в практике.

В литературе известны две формулы для определения M_k стержней с овальным поперечным сечением. Первая формула получена В. В. Соколовским [75] при помощи оригинального математического метода теории кручения. К сожалению, область применения этой формулы ограничена. Она пригодна лишь для овалов с отношением полуосей $m = \frac{a}{b} \leq 2$ и, вследствие этого, довольно редко используется в практике прокатного производства. В обозначениях В. В. Соколовского [75] формула для определения M_k имеет вид:

$$M_k = \frac{2}{3} \pi k \left(a^3 - \frac{9}{2} a b^2 + 4 b^3 \right).$$

Контур овала, для которого получена формула, записывается уравнениями

$$\begin{aligned} x &= [a + b (\cos 2\alpha + 2)] \sin \alpha; \\ y &= -[a + b (\cos 2\alpha - 2)] \cos \alpha. \end{aligned}$$

Этот контур имеет две оси симметрии и весьма близок к эллипсу с полуосями $a + b$ и $a - b$ при условии, что $a \geq 3b$. Практически полное совпадение контура такого овала с эллипсом, у которого отношение полуосей $m \leq 2$, позволяет применять формулу В. В. Соколовского для определения M_k стержней с эллиптическим поперечным сечением. Обозначив, как обычно, полуоси эллипса через a и b и заменив b через отношение $\frac{a}{m}$,

можно получить следующего вида формулу для определения пластического момента кручения эллипса

$$M_k = \frac{2}{3} \pi k a^3 \left[\frac{1}{16m^3} (m^3 - 9m^2 + 39m - 15) \right]. \quad (V,21)$$

Обозначив выражение, стоящее в квадратных скобках, через c_1 , получим окончательное выражение для M_k

$$M_k = \frac{2}{3} \pi k a^3 c_1, \quad (V,21')$$

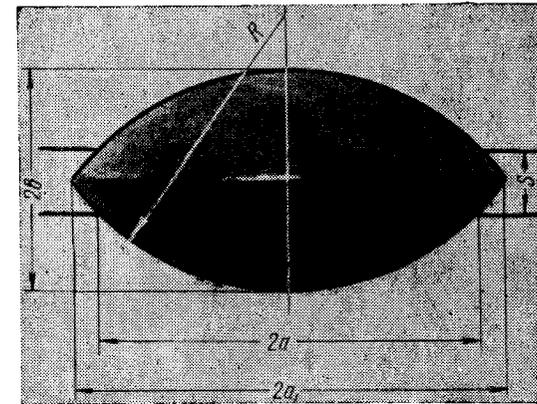


Рис. 76. Модель поверхности равного ската

где a — большая полуось эллипса;
 m — отношение полуосей;
 k — предел текучести при сдвиге;
 c_1 — числовой коэффициент, зависящий от величины m .

Формула, предложенная И. С. Тришевским [11] для определения M_k раскатов с овальным сечением эллиптической формы, не дает правильных результатов.

Ниже предлагается формула для определения момента пластического кручения стержней с поперечным сечением в форме однорядусного овала. Такая форма поперечного сечения раската широко используется в системах вытяжных и предотделочных калибров сортовых и проволочных станков и в наибольшей мере подвержена скручиванию при прокатке.

На рис. 76 представлена модель поверхности равного ската (кучи песка), имеющая основанием однорядусный овал. Из рисунка видно, что объем модели можно представить как удвоенный объем части кругового конуса, отсекаемой плоскостью, параллельной оси конуса на расстоянии $R - b$ от центра основания. Конфигурация отсекаемой части конуса видна из рис. 77,

где для наглядности передняя половина на этой части вырезана. Записав уравнение поверхности конуса в виде

$$\frac{x^2 + y^2}{R^2} = \frac{z^2}{h^2},$$

определим этот объем как (см. рис. 77)

$$V = 4 \int_0^{a_1} dx \int_{(R-b)}^{\sqrt{R^2-x^2}} \frac{h}{R \sqrt{x^2+y^2}} dy dz.$$

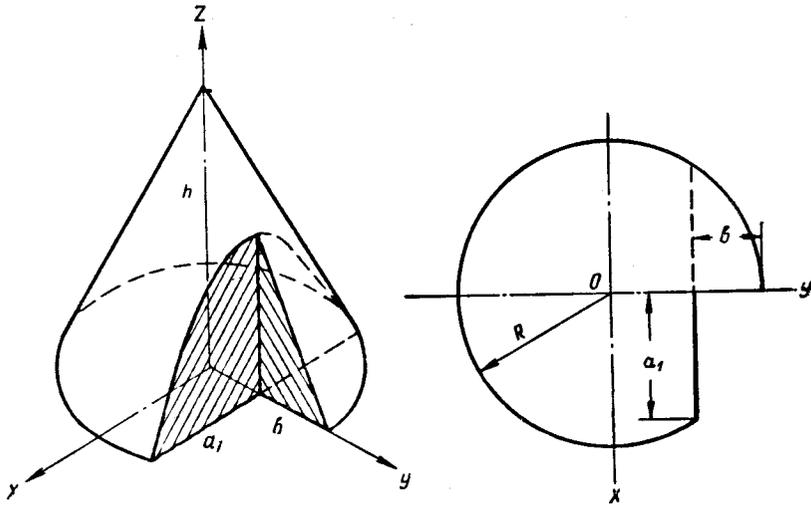


Рис. 77. Часть кругового конуса, используемая для построения модели равного ската

В результате интегрирования, используя равенство $R^2 = a_1^2 + (R-b)^2$, вытекающее из геометрических соотношений, после суммирования и приведения подобных получаем:

$$V = 4 \cdot \frac{1}{2} h \left[\frac{1}{2} R^2 \arcsin \frac{a_1}{R} - \frac{2}{3} a_1 (R-b) - \frac{1}{12} \pi R^2 + \frac{1}{6} R^2 \arcsin \frac{R-b}{R} + \frac{1}{3} \frac{(R-b)^3}{R} \ln \frac{R+a_1}{R-b} \right].$$

Полагая $h = kR$, получаем окончательно:

$$V = 4 \left[\frac{1}{4} kR^3 \arcsin \frac{a_1}{R} - \frac{1}{3} ka_1 R (R-b) - \frac{1}{24} \pi kR^3 + \frac{1}{12} kR^3 \arcsin \frac{R-b}{R} + \frac{1}{6} k(R-b)^3 \ln \frac{R+a_1}{R-b} \right].$$

Тогда на основании аналогии Надаи можно записать:

$$M_k = 2v = 2kR^3 \arcsin \frac{a_1}{R} - \frac{1}{3} \pi kR^3 - \frac{8}{3} ka_1 R (R-b) + \frac{2}{3} kR^3 \arcsin \frac{R-b}{R} + \frac{4}{3} k(R-b)^3 \ln \frac{R+a_1}{R-b}. \quad (V,22)$$

Для облегчения расчетов приведем полученное выражение к более удобному виду. Для этого, положив $\frac{a_1}{b} = m$ и имея в виду, что $R^2 = a_1^2 + (R-b)^2$, запишем выражение для M_k в форме

$$M_k = \frac{2}{3} \pi ka_1^3 \left\{ \frac{3}{48\pi m^3} \left[6(m^2+1) \cdot \arcsin \frac{2m}{m^2+1} - \pi(m^2+1)^3 - 16m(m^2+1)(m^2-1) + 2(m^2+1)^3 \arcsin \frac{m^2-1}{m^2+1} + 4(m^2-1)^3 \cdot \ln \frac{m+1}{m-1} \right] \right\}. \quad (V,23)$$

Заменив выражение, стоящее в фигурных скобках, через c_7 , получим окончательную расчетную формулу для определения пластического момента кручения стержня с поперечным сечением в форме однорадиусного овала.

$$M_k = \frac{2}{3} \pi ka_1^3 c_7. \quad (V,23')$$

Здесь k — предел текучести при сдвиге, c_7 — числовой коэффициент, зависящий от отношения полуосей овала $m = \frac{a_1}{b}$, определяемый из графика рис. 75.

При $a_1 = R$, $m = 1$, $c_7 = 1$ и формула (V,23') превращается в известное выражение для круглого сечения.

Для определения момента пластического кручения сечения в форме овала со срезанными концами, принимаемого в расчетах по калибровке, величину момента, полученную по предлагаемой формуле, следует умножить на поправочный коэффициент 0,9. Величина этого коэффициента зависит от формы овала (отношения $\frac{a_1}{b} = m$) и величины зазора между буртами s или заполнения калибра металлом. Теоретически она может изменяться в довольно широких пределах, возрастая с уменьшением m и увеличением s . Однако, как показывает анализ заводских калибровок, практически величина этого коэффициента колеблется незначительно и в расчетах может быть принята постоянной.

где для наглядности передняя половина на этой части вырезана. Записав уравнение поверхности конуса в виде

$$\frac{x^2 + y^2}{R^2} = \frac{z^2}{h^2},$$

определим этот объем как (см. рис. 77)

$$V = 4 \int_0^{a_1} dx \int_{(R-b)}^{\sqrt{R^2-x^2}} \frac{dy}{R} \int_{\frac{h}{R} \sqrt{x^2+y^2}}^h dz.$$

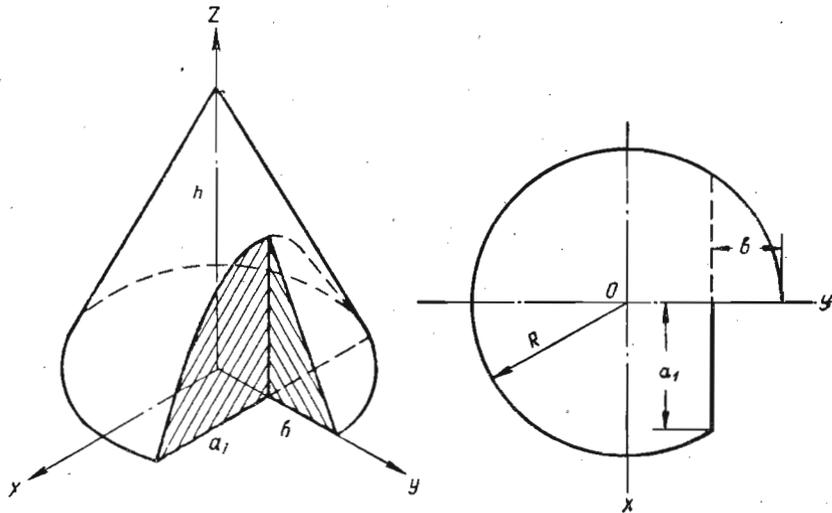


Рис. 77. Часть кругового конуса, используемая для построения модели равного ската

В результате интегрирования, используя равенство $R^2 = a_1^2 + (R - b)^2$, вытекающее из геометрических соотношений, после суммирования и приведения подобных получаем:

$$V = 4 \cdot \frac{1}{2} h \left[\frac{1}{2} R^2 \arcsin \frac{a_1}{R} - \frac{2}{3} a_1 (R - b) - \frac{1}{12} \pi R^2 + \frac{1}{6} R^2 \arcsin \left(\frac{R - b}{R} \right) + \frac{1}{3} \frac{(R - b)^3}{R} \ln \frac{R + a_1}{R - b} \right].$$

Полагая $h = kR$, получаем окончательно:

$$V = 4 \left[\frac{1}{4} kR^3 \arcsin \frac{a_1}{R} - \frac{1}{3} k a_1 R (R - b) - \frac{1}{24} \pi k R^3 + \frac{1}{12} k R^3 \arcsin \frac{R - b}{R} + \frac{1}{6} k (R - b)^3 \ln \frac{R + a_1}{R - b} \right].$$

Тогда на основании аналогии Нэдаи можно записать:

$$M_k = 2v = 2kR^3 \arcsin \frac{a_1}{R} - \frac{1}{3} \pi k R^3 - \frac{8}{3} k a_1 R (R - b) + \frac{2}{3} k R^3 \arcsin \frac{R - b}{R} + \frac{4}{3} k (R - b)^3 \ln \frac{R + a_1}{R - b}. \quad (V,22)$$

Для облегчения расчетов приведем полученное выражение к более удобному виду. Для этого, положив $\frac{a_1}{b} = m$ и имея в виду, что $R^2 = a_1^2 + (R - b)^2$, запишем выражение для M_k в форме

$$M_k = \frac{2}{3} \pi k a_1^3 \left\{ \frac{3}{48 \pi m^3} \left[6(m^2 + 1) \cdot \arcsin \frac{2m}{m^2 + 1} - \pi(m^2 + 1)^3 - 16m(m^2 + 1)(m^2 - 1) + 2(m^2 + 1)^3 \arcsin \frac{m^2 - 1}{m^2 + 1} + 4(m^2 - 1)^3 \cdot \ln \frac{m + 1}{m - 1} \right] \right\}. \quad (V,23)$$

Заменяв выражение, стоящее в фигурных скобках, через c_7 , получим окончательную расчетную формулу для определения пластического момента кручения стержня с поперечным сечением в форме однорадиусного овала.

$$M_k = \frac{2}{3} \pi k a_1^3 c_7. \quad (V,23')$$

Здесь k — предел текучести при сдвиге, c_7 — числовой коэффициент, зависящий от отношения полуосей овала $m = \frac{a_1}{b}$, определяемый из графика рис. 75.

При $a_1 = R$, $m = 1$, $c_7 = 1$ и формула (V,23') превращается в известное выражение для круглого сечения.

Для определения момента пластического кручения сечения в форме овала со срезанными концами, принимаемого в расчетах по калибровке, величину момента, полученную по предлагаемой формуле, следует умножить на поправочный коэффициент 0,9. Величина этого коэффициента зависит от формы овала (отношения $\frac{a_1}{b} = m$) и величины зазора между буртами s или заполнения калибра металлом. Теоретически она может изменяться в довольно широких пределах, возрастая с уменьшением m и увеличением s . Однако, как показывает анализ заводских калибровок, практически величина этого коэффициента колеблется незначительно и в расчетах может быть принята постоянной.

Таким образом, формула для определения момента овального сечения со срезанными углами имеет вид:

$$M_k \approx (1 \div 0,9) \frac{2}{3} \pi k a^3 c_7. \quad (V,24)$$

Форма такого сечения незначительно отличается от эллипса с полуосями a и b . Это обстоятельство позволяет использовать последнюю формулу для определения по приближенному методу пластического момента кручения эллиптического сечения с учетом влияния упрочнения металла при деформации, когда при $a > 2b$ нельзя применить формулу В. В. Соколовского.

19. Степень деформации при пластическом кручении стержней из упрочняющегося материала

В настоящее время не известны какие-либо методы определения меры деформации при пластическом кручении. Если с этим обстоятельством в известной степени можно мириться при расчетах, связанных с кручением идеально пластичных тел, то при кручении стержней из пластического упрочняющегося материала без этого определения обойтись совершенно невозможно.

Из (V, 2) следует, что относительный сдвиг при линейном законе упрочнения зависит только от способности металла к упрочнению. В связи с этим закономерность распределения γ по сечению скручиваемого стержня может быть получена из решения упругой задачи при $G = \Pi$. В этом случае степень деформации будет изменяться от нуля в центре сечения до максимума на поверхности стержня. Величина относительного сдвига имеет постоянное значение на поверхности стержня только при кручении стержней, имеющих сечение в форме круга. У стержней с иной формой поперечного сечения она будет различна в различных точках поверхности. Поэтому наиболее полно величину деформации скручиваемого стержня в целом представляется целесообразным характеризовать относительным сдвигом, средним по сечению $\gamma_{\text{ср}}$. Математически принятое определение запишется как

$$\gamma_{\text{ср}} = \frac{\iint_S \gamma dx dy}{s}, \quad (V,25)$$

где $\gamma = \gamma(x, y)$;
 s — площадь поперечного сечения стержня.

Используя закономерности распределения γ в зависимости от координат, известные из теории упругости [74], с помощью (V, 25) можно получить формулы для определения $\gamma_{\text{ср}}$ различных сечений. Ниже приводятся основные выкладки, с помощью которых были получены эти формулы.

а. Для круглого сечения радиуса R

Для круга $R^2 = x^2 + y^2$ имеем $\gamma = \theta \sqrt{x^2 + y^2}$, тогда

$$\iint_S \gamma dx dy = \theta \iint_S \sqrt{x^2 + y^2} dx dy = 4\theta \int_0^R dx \int_0^{\sqrt{R^2 - x^2}} \sqrt{x^2 + y^2} dy.$$

Выполнив интегрирование и приведение подобных, получаем:

$$\begin{aligned} \iint_S \gamma dx dy &= 4\theta \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \left(\frac{\pi R^3}{2} + \frac{R^3 \ln R}{6} + \frac{\pi R^3}{6} - \frac{R^3}{6} - \right. \\ &\quad \left. - \frac{R^3 \ln R}{6} + \frac{R^3}{6} \right) = \frac{2}{3} \pi R^3 \theta. \end{aligned}$$

На основании ранее принятого для $\gamma_{\text{ср}}$ определения находим

$$\begin{aligned} \gamma_{\text{ср}} &= \frac{\iint_S \gamma dx dy}{s} = \frac{\frac{2}{3} \pi R^3 \theta}{\pi R^2} \text{ или окончательно} \\ \gamma_{\text{ср}} &= \frac{2}{3} \theta R. \end{aligned} \quad (V,26)$$

б. Для эллиптического сечения с полуосями $a > b$

Для эллипса

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1 \text{ имеем } \gamma = 2 \frac{\theta}{a^2 + b^2} \sqrt{b^4 x^2 + a^4 y^2}$$

тогда

$$\begin{aligned} \iint_S \gamma dx dy &= 2 \frac{\theta}{a^2 + b^2} \iint_S \sqrt{b^4 x^2 + a^4 y^2} dx dy = \\ &= 8 \frac{\theta}{a^2 + b^2} \int_0^a dx \int_0^{\frac{b}{a} \sqrt{a^2 - x^2}} \sqrt{b^4 x^2 + a^4 y^2} dy. \end{aligned}$$

Полагая $\frac{b}{a} = c$, после преобразований, имеем:

$$I = \frac{8}{3} a^3 b^2 \frac{\theta}{a^2 + b^2} \int_0^{\frac{\pi}{2}} \sqrt{1 - (1 - c^2) \sin^2 \varphi} d\varphi = \iint_S \gamma dx dy.$$

Последнее выражение представляет собой эллиптический интеграл второго рода, записанный в лежандровой форме, в ко-

тором $k^2 = (1 - c^2)$. При данных пределах интегрирования $(0, \frac{\pi}{2})$, используя общепринятые обозначения [76], его можно записать в виде:

$$\iint_s \gamma dx dy = \frac{8}{3} a^3 b^2 \frac{\theta}{a^2 + b^2} E,$$

где

$$E = E\left(k, \frac{\pi}{2}\right) = \int_0^{\frac{\pi}{2}} \sqrt{1 - k^2 \sin^2 \varphi} d\varphi$$

— полный эллиптический интеграл.

На основании ранее принятого находим

$$\gamma_{\text{ср}} = \frac{\iint_s \gamma dx dy}{s} = \frac{8a^3 b^2 \theta}{3(a^2 + b^2) \pi ab} E = \frac{8}{3} \frac{a^2 b \theta}{\pi (a^2 + b^2)} E. \quad (V, 27)$$

Для получения конечного приближенного выражения для $\gamma_{\text{ср}}$ разложим функцию $E\left(k, \frac{\pi}{2}\right)$ в ряд

$$E = \frac{\pi}{2} \left\{ 1 - \frac{1}{4} \cdot \frac{k^2}{1} - \frac{9}{64} \cdot \frac{k^4}{3} - \dots \right\}.$$

Имея в виду, что

$$k^2 = (1 - c^2) = \left(1 - \frac{b^2}{a^2}\right)$$

и переходя к ранее принятым обозначениям $\left(\frac{a}{b} = m\right)$, получим

$$E = \frac{\pi}{2} \left\{ 1 - \frac{1}{4} \left(1 - \frac{1}{m^2}\right) - \frac{3}{64} \left(1 - \frac{1}{m^2}\right)^2 - \dots \right\}.$$

Ограничиваясь тремя членами разложения, получаем окончательное выражение для $\gamma_{\text{ср}}$:

$$\gamma_{\text{ср}} \approx \frac{4}{3} \frac{a^2 b}{a^2 + b^2} \theta \left\{ 1 - \frac{1}{4} \left(1 - \frac{1}{m^2}\right) - \frac{3}{64} \left(1 - \frac{1}{m^2}\right)^2 \right\}. \quad (V, 28)$$

Если $a = b = R$, то $m = 1$ и последнее выражение превращается в полученную ранее формулу для круга (V, 26). При определенном отношении осей эллипса выражение, стоящее в фигурных скобках, можно обозначить через c_6 и записать (V, 28) в виде

$$\gamma_{\text{ср}} \approx \frac{4}{3} \cdot \frac{a^2 b}{a^2 + b^2} \theta c_6. \quad (V, 28')$$

При заданном m величина c_6 может быть найдена из графика рис. 75.

в. Для прямоугольного сечения со сторонами $2a > 2b$

У стержней, имеющих сечение в форме прямоугольника, распределение γ по сечению описывается следующей приближенной формулой:

$$\gamma_{\text{ср}} \approx \frac{5}{2} \frac{\theta}{a^2 + b^2} \sqrt{x^2 (y^2 - b^2)^2 + y^2 (x^2 - a^2)^2}.$$

Ввиду того что интеграл

$$\iint_s \gamma dx dy = \frac{5}{2} \frac{\theta}{a^2 + b^2} \int_0^b dy \int_0^a \sqrt{x^2 (y^2 - b^2)^2 + y^2 (x^2 - a^2)^2} dx,$$

необходимый для определения $\gamma_{\text{ср}}$, не удалось свести к табличному виду, для получения конечного выражения был применен метод приближенного вычисления определенных интегралов.

Используя формулу А. Н. Крылова [77]:

$$\int_c^d dy \int_a^b f(x; y) dx = \frac{b-a}{n} \cdot \frac{d-c}{k} [f(x_1; y_1) + f(x_1; y_2) + \dots + f(x_1; y_n) + f(x_2; y_1) + f(x_2; y_2) + \dots + f(x_2; y_n) + \dots + f(x_n; y_1) + f(x_n; y_2) + \dots + f(x_n; y_n)]$$

и опуская постоянный множитель $\frac{5}{2} \frac{\theta}{a^2 + b^2}$, можно записать:

$$V = \frac{a-0}{3} \cdot \frac{b-0}{3} \left[0 + \frac{1}{2} a^2 b + a^2 b + \frac{1}{2} a b^2 + \frac{3}{8} a b \sqrt{a^2 + b^2} + \frac{3}{4} a^2 b + a b^2 + \frac{3}{4} a b^2 + 0 \right] = \frac{1}{4} a^2 b^2 \left(a + b + \frac{1}{6} \sqrt{a^2 + b^2} \right).$$

Откуда

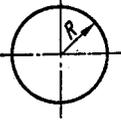
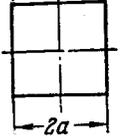
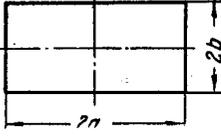
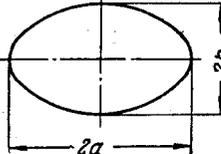
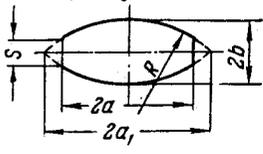
$$\iint_s \gamma dx dy = 4 \cdot \frac{5}{2} \frac{\theta}{a^2 + b^2} \cdot \frac{1}{4} a^2 b^2 \left(a + b + \frac{1}{6} \sqrt{a^2 + b^2} \right) = \frac{5}{2} \theta \frac{a^2 b^2}{a^2 + b^2} \left(a + b + \frac{1}{6} \sqrt{a^2 + b^2} \right).$$

На основании принятого ранее определения окончательно получаем:

$$\gamma_{\text{ср}} = \frac{\iint_s \gamma dx dy}{s} = \frac{5 \theta a^2 b^2 \left(a + b + \frac{1}{6} \sqrt{a^2 + b^2} \right)}{2(a^2 + b^2) \cdot 4ab},$$

$$\gamma_{\text{ср}} \approx \frac{5}{8} \theta \frac{ab}{a^2 + b^2} \left(a + b + \frac{1}{6} \sqrt{a^2 + b^2} \right). \quad (V, 29)$$

Формулы для практических расчетов моментов по приближенному методу

Форма сечения скручиваемого раската	Выражения для определения	
	среднего относительного сдвига γ_{cp}	момента сопротивления кручению W пл. кр
<p>Круг</p> 	$\frac{2}{3} R\theta \dots (V, 26)$	$\frac{2}{3} \pi k R^3 + \frac{1}{2} \pi \Pi \theta R^4 \dots (V, 14)$
<p>Квадрат</p> 	$0,7a\theta \dots (V, 30);$	$\frac{1}{3} k (2a)^3 + 0,1406 \Pi \theta \times (2a)^4 \dots (V, 17)$
<p>Прямоугольник</p> 	$\frac{5}{8} \theta \frac{ab}{a^2 + b^2} (a + b + \frac{1}{6} \sqrt{a^2 + b^2}) \dots (V, 29)$	$\frac{4}{3} kb^2 (3a - b) + c_3 \Pi \theta (2a) (2b)^3 \dots (V, 18)$ или (V, 18')
<p>Овал эллиптич. формы</p> 	$\frac{4}{3} \theta \frac{a^2 b}{a^2 + b^2} c_6 \dots (V, 28);$	$\frac{2}{3} \pi k a^3 c_1 + \frac{1}{2} \pi \Pi \theta a^4 c_2 (V, 15)^*$
<p>Однорядусный овал</p> 	$\frac{4}{3} \theta \frac{a^2 b}{a^2 + b^2} c_6 \dots (V, 28)$	$(1 + 0,9) \frac{2}{3} \pi k a^3 c_7 + \frac{1}{2} \pi \Pi \theta a^4 c_2 \dots (V, 16)^{**}$

* Применяма для выпуклых овалов с $m = \frac{a}{b} < 2$.

** Целесообразно использовать для более плоских овалов с $m = \frac{a}{b} > 2$. При пользовании этой формулой следует иметь в виду, что для нахождения коэффициента c_7 величина m определяется как $\frac{a_1}{b}$, а для c_2 — как $\frac{a}{b}$.

г. Для квадратного сечения со стороной $2a$

Формулы для квадратного сечения могут быть получены из формул для прямоугольника, если в них положить $a = b$.

$$\gamma \approx \frac{5}{4} \frac{\theta}{a^2} \sqrt{(x^2 + y^2)(x^2 y^2 + a^4) - 4a^2 x^2 y^2}$$

$$\gamma_{cp} \approx 0,699a\theta \approx 0,7a\theta. \quad (V, 30)$$

20. Определение величин, необходимых для практических расчетов по формулам

В настоящее время отсутствуют общепризнанные представления о величинах, используемых в практических расчетах, связанных с пластическим кручением упрочняющихся материалов. В связи с этим представляется целесообразным особо оговорить значения этих величин, входящих в полученные формулы.

Относительный угол закручивания θ . Угол закручивания, приходящийся на единицу длины скручиваемого раската, определяется из простых соотношений, получаемых путем элементарных рассуждений.

$$\theta = \frac{\varphi_k}{L_k} = \frac{\varphi_{np}}{L_{np}}, \quad (V, 31)$$

где φ_k — конечный угол кантования (обычно 45, 90 или 180°);

φ_{np} — угол кантования (установки) проводки;

L_k — расстояние между клетями;

L_{np} — расстояние между проводкой и валками.

Относительный сдвиг γ . Наиболее полную характеристику деформации скручиваемого стержня в целом дает относительный сдвиг, средний по сечению.

Согласно (V, 25), определим этот сдвиг как $\iint \gamma dx dy$, взятый по всему сечению и деленный на площадь сечения скручиваемого раската, т. е.

$$\gamma_{cp} = \frac{\iint \gamma dx dy}{s}$$

Исходя из принятого определения, используем полученные ранее (раздел 19) зависимости для γ и γ_{cp} . Для удобства они помещены в специальной таблице (табл. 15). Там же приведены выражения для вычисления моментов сопротивления скручиванию.

Время деформации t . Определим время относительной деформации как время, за которое два сечения на расстоянии единицы длины повернутся друг относительно друга на

угол θ . Поскольку прокатываемая полоса движется равномерно, время относительной деформации находится как

$$t = \frac{t_k}{\frac{L_k}{L}} = \theta L \frac{t_k}{\varphi_k} = \frac{L}{v}. \quad (V, 32)$$

Здесь $t_h = \frac{L_k}{v}$ — общее время кантования;

v — скорость движения раската;

L — единица длины, принятая в расчете.

Относительный угол закручивания в функции времени будет

$$\theta = t \frac{L_k}{L t_k}. \quad (V, 33)$$

Скорость деформации $\dot{\gamma}$. При свободном кручении скорость деформации определяется

$$\dot{\gamma} = \frac{d\gamma}{dt}. \quad (V, 34)$$

Обозначив в общем случае

$$\gamma = \theta \Phi(x, y) = t \frac{\varphi_k}{L t_k} \Phi(x, y),$$

находим скорость относительной деформации в любой точке скручиваемого раската

$$\dot{\gamma} = \frac{d\gamma}{dt} = \frac{\varphi_k}{L t_k} \Phi(x, y) = \frac{\theta \Phi(x, y)}{t} = \frac{\gamma}{t}. \quad (V, 35)$$

Поскольку для практических расчетов необходимы конечные величины, принимаем среднее значение скорости по сечению

$$\dot{\gamma}_{cp} = \frac{\dot{\gamma}}{t}. \quad (V, 36)$$

Предел текучести при сдвиге k и модуль упрочнения Π . Обе константы определяются из опытных данных. Обычно эти данные приводятся в виде графиков, в которых касательное напряжение или момент сопротивления кручению является функцией температуры, скорости и степени деформации, т. е.

$$\tau = \tau(t_{II}, \dot{\gamma}, \gamma)$$

или в виде

$$M = M(t_{II}, \dot{\gamma}, \gamma).$$

При отсутствии необходимых данных по кручению требуемые константы можно получить из соответствующих зависимостей

для растяжения или сжатия¹, например [68, 69], пользуясь известными [78] соотношениями (справедливыми при малых значениях γ):

$$\left. \begin{aligned} \gamma &= 2\varepsilon; \\ \dot{\gamma} &= 2\dot{\varepsilon}; \\ \tau &= 0,57 |\sigma| \approx 0,6 |\sigma|. \end{aligned} \right\} \quad (V, 37)$$

Модуль упрочнения Π для данной температуры и скорости деформации приближенно может быть определен по формуле

$$\Pi \approx \frac{\tau_{I, cp} - k}{\dot{\gamma}_{cp}}. \quad (V, 38)$$

Размеры упругого ядра при скручивании горячих стальных раскатов. Все рассмотренные выше формулы и значения расчетных величин пригодны лишь в том случае, когда весь объем скручиваемого раската находится в пластическом состоянии. Если же значительные части деформируемого объема металла находятся в упругом состоянии, то применение этих формул приводит к серьезным ошибкам.

Рассмотрение смешанных упруго-пластических задач представляет большие математические трудности. Тем не менее, пользуясь формулами В. В. Соколовского [75], можно определить размеры упругого ядра при кручении стержней, имеющих круглое или овальное поперечное сечение.

При кручении круглых стержней упругое ядро имеет форму круга радиуса r , определяемого как

$$r = \frac{k}{G\theta}. \quad (V, 39)$$

Упругое ядро раската с овальным поперечным сечением имеет форму эллипса с полуосями $a' > b'$. Величина этих полуосей может быть найдена по формуле

$$\left. \begin{aligned} a' \\ b' \end{aligned} \right\} = (a - b) \left\{ \frac{k}{2(a - b) G\theta} + \sqrt{1 + \left[\frac{k}{2(a - b) G\theta} \right]^2} \pm 1 \right\}. \quad (V, 40)$$

В обеих формулах G — модуль сдвига стали, соответствующий данной температуре деформации. Величина G для углеродистых сталей может быть взята из графика А. Надаи [65], представленного на рис. 78. На этом графике нанесены кривые зави-

¹ Как показывают наши опыты, значения пределов текучести, полученные при испытаниях на сжатие, примерно на 10—15% превосходят эквивалентные значения, полученные при испытаниях на кручение. Об этом же говорит ряд авторов [65, 69, 79—84].

симости модуля упругости E , модуля сдвига G и коэффициента линейного расширения α от переменной η . Здесь $\eta = \frac{T_{\text{п}}}{T_{\text{г}}}$ представляет собой отношение абсолютной температуры прокатки $T_{\text{п}}$ к абсолютной температуре плавления стали данной марки $T_{\text{г}}$.

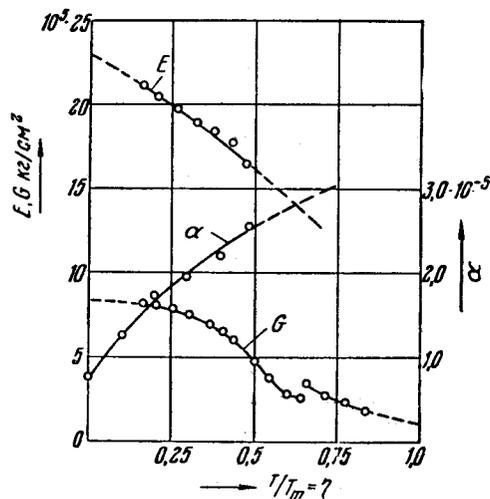


Рис. 78. Зависимости модуля упругости, модуля сдвига и коэффициента линейного расширения от температуры

Как показывают вычисления, часть из которых приведена ниже в примерных расчетах, при деформациях кручения, имеющих место в практике прокатного производства, размеры упругого ядра оказываются столь незначительными, что наличием этого ядра вполне можно пренебречь.

21. Примеры применения полученных решений в практических расчетах

Для иллюстрации практического использования предлагаемой методики ниже приводятся примерные расчеты максимальных усилий и моментов, возникающих в удерживающих вводных проводках (пропусках) при сваливании раската в валках или кантовании его между клетями.

В виде примера рассмотрим сваливание раската с овальным поперечным сечением в круглом калибре проволочного стана 250. Чистовой пропуск на этом стане осуществляется с применением вводной роликовой проводки, у которой удерживающие ролики расположены на расстоянии 75 мм ($L_{\text{пр}} = 75$ мм) от оси валков. При прокатке проволоки диаметром 6,5 мм скорость движения полосы, входящей в чистовую клеть, составляет 7,5 м/сек ($v = 7,5$ м/сек), а температура прокатки ($t_{\text{п}}$) 800°С. Круг диаметром 6,5 мм из стали Ст.3 сп прокатывается в чистовом калибре из овала 10,5 × 4,8 мм. На рис. 79 пунктирной линией показан контур эллипса с осями $2a = 10,5$ мм, $2b = 4,8$ мм, который в расчете принят вместо овала (сплошная линия). Заполнение калибра на рисунке отмечено штриховкой.

Примерный расчет

1. Относительный угол закручивания θ (V, 31) *

$$\theta = \frac{\varphi_{\text{пр}}}{L_{\text{пр}}} = \frac{\pi/2}{75} = 0,0209 \frac{1}{\text{мм}}$$

2. Время деформации t (V, 32)

$$t = \frac{L}{v} = \frac{1}{7500} = 0,000133 \text{ сек.}$$

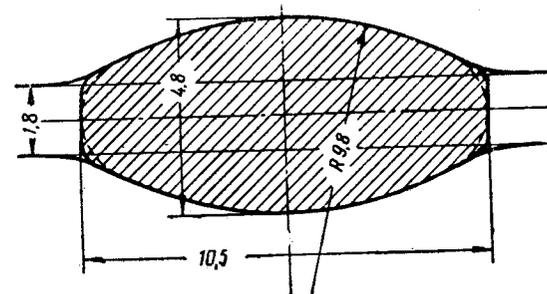


Рис. 79. Предчистовой овальный калибр для прокатки катанки diam. 6,5 мм

3. Степень деформации $\gamma_{\text{ср}}$ (V, 28)

$$\gamma_{\text{ср}} = \frac{4}{3} \theta \frac{a^2 b}{a^2 + b^2} c_6 = \frac{4}{3} 0,0209 \frac{5,25^2 \cdot 2,4}{5,25^2 + 2,4^2} \cdot 0,707 = 0,039 \approx 4\%$$

4. Скорость деформации $\dot{\gamma}$ (V, 36)

$$\dot{\gamma} = \frac{\gamma_{\text{ср}}}{t} = \frac{0,039}{0,000133} = 293 \cdot 1/\text{сек} \approx 3 \cdot 10^2 1/\text{сек.}$$

5. Предел текучести при сдвиге k и модуль упрочнения Π (V, 38). Из графиков [69] для стали Ст.3сп, температуры прокатки $t_{\text{п}} = 800^\circ\text{С}$, скорости деформации $\dot{\gamma} = 3 \cdot 10^2 \frac{1}{\text{сек}}$ и $\gamma = \gamma_{\text{ср}} = 0,04$ (см. рис. 80), имея в виду (V, 37), находим $k = 0,6 \cdot 30 \cdot 0,55 = 9,9 \text{ кг/мм}^2$ [97 н/мм²],

$$\Pi = \frac{\tau_{\text{ср}} - k}{\gamma_{\text{ср}}} = \frac{0,6 \cdot 30 \cdot 0,62 - 9,9}{0,04} = 32,5 \text{ кг/мм}^2 = 319 \text{ н/мм}^2$$

6. Момент сопротивления скручиванию M (V, 15') или (V, 16). Поскольку отношение осей эллипса больше двух, для вычисления момента целесообразнее пользоваться формулой (V, 16). В ней

$$a_1 = \sqrt{2Rb - b^2} = \sqrt{2 \cdot 9,8 \cdot 2,4 - 2,4^2} = 6,4 \text{ мм;}$$

$$m = \frac{a_1}{b} = \frac{6,4}{2,4} = 2,67;$$

* Здесь и в дальнейших расчетах в скобках указывается номер формулы, применяемой для вычислений данной величины.

$$a = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{2a_1}{m} \left[m \left(2a_1 - \frac{s^2}{2a_1} \right) - s(m^2 - 1) \right]} =$$

$$= \frac{1}{2} \sqrt{\frac{2 \cdot 6,4}{2,67} \left[2,67 \left(2 \cdot 6,4 - \frac{1,8^2}{2,64} \right) - 1,8(2,67^2 - 1) \right]} = 5,25 \text{ мм.}$$

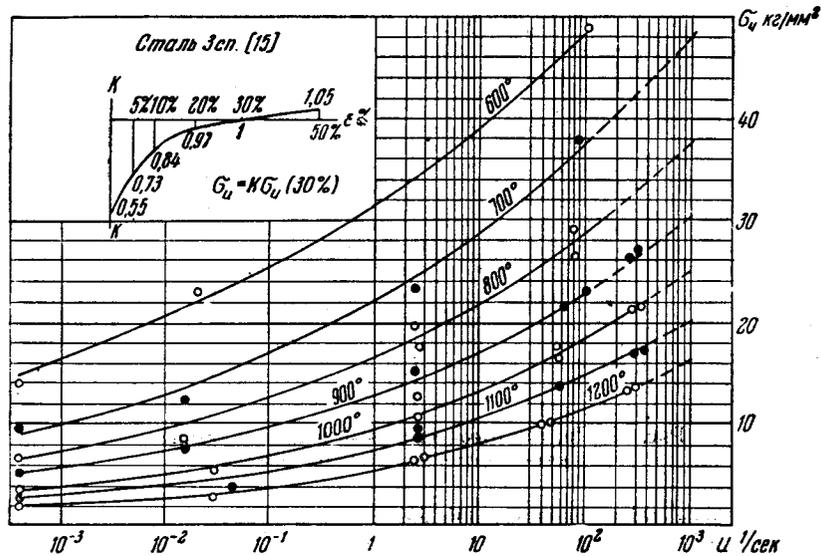


Рис. 80. График А. А. Динника для стали марки Ст. 3сп

Величину a в данном случае можно было получить без специальных вычислений.

$$a = \frac{10,5}{2} = 5,25 \text{ мм.}$$

$$M = 0,9 \frac{2}{3} \pi k a_1^3 c_7 + \frac{1}{2} \pi \theta a^4 c_2 = 0,9 \frac{2}{3} \cdot 3,14 \cdot 9,9 \cdot 6,4^3 \cdot 0,14 +$$

$$+ \frac{1}{2} \cdot 3,14 \cdot 32,5 \cdot 0,0209 \cdot 5,25^4 \cdot 0,155 = 658 + 127 = 785 \text{ кг} \cdot \text{мм} [7,8 \text{ кн} \cdot \text{мм}].$$

$$M \approx 0,79 \approx 0,8 \text{ кг} \cdot \text{м} [7,8 \text{ нм}].$$

7. Сила, действующая на удерживающие ролики проводки P (V, 19).

Полагая, что выгибание зазоров и смятие концов овала при скручивании не оказывает заметного влияния на величину плеча приложения силы, находим

$$P = \frac{M}{h} = \frac{800}{10} = 80 \text{ кг} [780 \text{ н}].$$

8. Мощность, затрачиваемая на скручивание раската (без учета сил трения о ролики) N (V, 20)

$$N = M\theta v = 800 \cdot 0,0209 \cdot 7500 = 1,22 \text{ квт} \left[125 \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{сек}} \right].$$

9. Размеры упругого ядра (полуоси эллипса a' и b') (V, 40).
Для стали Ст. 3сп и $t_{II} = 800^\circ \text{C}$ определяем:

$$T_{II} = t_{II} + 273 = 800 + 273 = 1073^\circ \text{K},$$

$$T_m = t_m + 273 = 1470 + 273 = 1743^\circ \text{K},$$

$$\eta = \frac{T_{II}}{T_m} = \frac{1073}{1743} = 0,616.$$

Из графика рис. 78 для $\eta = 0,616$ находим

$$G = 2700 \text{ кг/мм}^2 [26,5 \text{ кн/мм}^2],$$

$$a' = (a - b) \left\{ \frac{k}{2(a - b)G\theta} + \sqrt{1 + \left[\frac{k}{2(a - b)G\theta} \right]^2} \pm 1 \right\} =$$

$$= (5,25 - 2,4) \left\{ \frac{9,9}{2(5,25 - 2,4)2700 \cdot 0,0209} + \right.$$

$$\left. + \sqrt{1 + \left[\frac{9,9}{2(5,25 - 2,4)2700 \cdot 0,0209} \right]^2} \pm 1 \right\}.$$

Откуда после вычислений $a' = 5,8 \text{ мм}$; $b' = 0,09 \text{ мм}$, т. е. практически упругое ядро вырождается в линию и весь объем скручиваемого раската находится в пластическом состоянии.

Проведенный расчет показывает, что полученная величина момента в 1,83 раза больше величины, подсчитанной обычным¹ способом. Увеличение величины момента за счет упрочнения в данном примере составляет 19%.

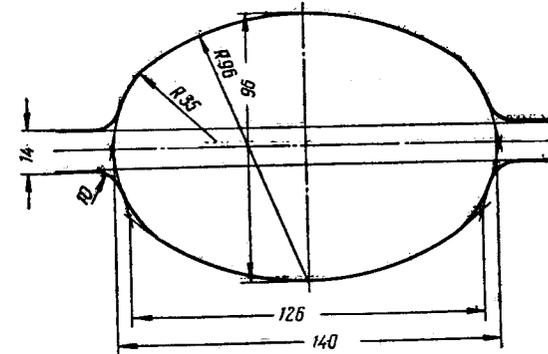


Рис. 81. Предчистовой овальный калибр для прокатки круглой стали диаметром 100 мм

В качестве второго примера рассчитаем момент сопротивления скручиванию, возникающий при сваливании в валках овала $140 \times 96 \text{ мм}$ (рис. 81), в круглом калибре при прокатке круга диаметром 100 мм на стане 600. Вводной арматурой на этом стане служит четырехроlikовая вводная проводка. Оси последней пары удерживающих роликов проводки расположены

¹ Сравнение проводится с результатами, полученными расчетом с использованием аналогии А. Надаи и зависимостей $\sigma_s - t_{II}$ Вракго и Францевича [8]. $k = 0,6$ $\sigma_s = 0,6 \cdot 8 = 4,8 \text{ кг/мм}^2$ (47 н/мм²); $M = 2/3 \cdot 4,8 \cdot 3,14 \cdot 5,23^3 \cdot 0,224 = 362 \text{ кг/мм}$ [3,55 кн. мм].

на расстоянии 305 мм от оси прокатных валков. Скорость движения полосы $v = 2,9$ м/сек, температура прокатки $t_{\Pi} = 1000^{\circ}\text{C}$, марка стали Ст.3сп.

Поскольку сваливаемое сечение достаточно крупное, определим длину участка, на котором происходит скручивание раската при сваливании ($L_{\text{пр}}$) как расстояние от оси удерживающих роликов до середины очага деформации

$$L_{\text{пр}} = 305 - \frac{1}{2} \cdot \frac{D}{2} \sin \alpha = 250 \text{ мм.}$$

Порядок дальнейшего расчета совершенно не отличается от приведенного в первом примере, поэтому ниже даны лишь конечные результаты. Кстати заметим, что поскольку скручиваемое сечение представляет собой эллиптический овал, у которого отношение $m = \frac{a}{b} = \frac{70}{48} = 1,46 < 2$, вычисление момента сопротивления кручению производилось по формуле (V, 15'), а не (V, 16), как в предыдущем примере.

$$\theta = 0,0063 \text{ 1/мм; } t = 0,000345 \text{ сек;}$$

$$\gamma_{\text{ср}} = 0,222 \approx 22\%; \quad \dot{\gamma} = 645 \text{ 1/сек} \approx 6,5 \cdot 10^3 \text{ 1/сек;}$$

$$k = 7,27 \text{ кг/мм}^2 [71,2 \text{ н/мм}^2]; \quad \Pi = 18 \text{ кг/мм}^2 [177 \text{ н/мм}^2];$$

$$M = 2710 + 1875 = 4585 \text{ кг}\cdot\text{м} [45 \text{ кн}\cdot\text{м}];$$

$$a' = 22 \text{ мм; } b' = 0,13 \text{ мм.}$$

Как видим, и в этом примере упругое ядро практически отсутствует. Увеличение момента за счет упрочнения на этот раз составляет 69%. Сравнение с расчетами, проведенными по прежнему методу, показывает, что в данном случае полученная расчетная величина момента в 2,7 раза больше.

Воспользуемся теперь предлагаемой методикой для определения максимального усилия и момента, возникающих при кантовании раскатов между соседними клетями непрерывных станов.

Проиллюстрируем ее применение на примере непрерывного мелкосортного стана 250 Криворожского металлургического завода, описанного выше в гл. IV. Примем для расчета следующие исходные данные.

1. Расстояние между II и III клетями черновой группы стана $L_{\text{к}} = 3000$ мм.

2. Скорость прокатки (скорость движения полосы) $v = 0,585$ м/сек.

3. Кантуемое сечение — прямоугольник 89×53 мм ($a = 44,5$ мм; $b = 26,5$ мм; $m = 1,68$).

4. Угол кантования $\varphi_{\text{к}} = 90^{\circ}$.

5. Температура прокатки $t_{\Pi} = 1100^{\circ}\text{C}$.

6. Прокатываемый металл Ст. 3 сп.

7. Кантовка раската осуществляется с помощью кантующих роликов обычной конструкции (рис. 57).

Примерный расчет

1. Относительный угол закручивания θ (V, 31)

$$\theta = \frac{\varphi_{\text{к}}}{L_{\text{к}}} = \frac{\pi}{2 \cdot 3000} = 0,000525 \text{ 1/мм.}$$

2. Время деформации t (V, 32)

$$t = \frac{L}{v} = \frac{1}{585} = 0,00171 \text{ сек.}$$

3. Степень деформации $\gamma_{\text{ср}}$ (V, 29)

$$\gamma_{\text{ср}} \approx \frac{5}{8} \theta \frac{ab}{a^2 + b^2} \left(a + b + \frac{1}{6} \sqrt{a^2 + b^2} \right) = \\ = \frac{5}{8} \cdot 0,000525 \frac{44,5 \cdot 26,5}{44,5^2 + 26,5^2} \left(44,5 + 26,5 + \frac{1}{6} \sqrt{44,5^2 + 26,5^2} \right) \approx \\ \approx 0,0115 \approx 1,2\%.$$

4. Скорость деформации $\dot{\gamma}$ (V, 36)

$$\dot{\gamma} = \frac{\gamma_{\text{ср}}}{t} = \frac{0,0115}{0,00171} = 6,75 \text{ 1/сек} \approx 7 \frac{1}{\text{сек}}$$

5. Предел текучести k и модуль упрочнения Π (V, 38).

Из графика рис. 80 для стали Ст. 3 сп, $t_{\Pi} = 1100^{\circ}\text{C}$, $\dot{\gamma} = 7 \frac{1}{\text{сек}}$ и $\gamma = \gamma_{\text{ср}} = 1,2\%$ находим

$$k = 0,6 \cdot 9,5 \cdot 0,55 = 3,14 \text{ кг/мм}^2 [30,8 \text{ н/мм}^2];$$

$$\Pi = \frac{\tau_{\text{ср}} - k}{\gamma_{\text{ср}}} = \frac{0,6 \cdot 9,5 \cdot 0,57 - 3,14}{0,012} = 9,2 \text{ кг/мм}^2 [90 \text{ н/мм}^2].$$

6. Момент сопротивления скручиванию M (V, 18) или (V, 18')

$$M \approx \frac{1}{3} k (2a)^2 c_4 + 0,1406 \Pi \theta (2a)^4 c_5 = \frac{1}{3} \cdot 3,14 \cdot 89^3 \cdot 0,43 + \\ + 0,1406 \cdot 9,2 \cdot 0,000525 \cdot 89^4 \cdot 0,315 = 314\,000 + 13\,400 = \\ = 327\,400 \text{ кг}\cdot\text{мм} = 3,2 \text{ кн}\cdot\text{м.}$$

7. Сила, действующая на кантующие валки P (V, 19).

Согласно принятым [85] допущениям считаем, что при кантовке раската в калибре кантующих валков реакция является сосредоточенной силой, приложенной на расстоянии $0,2 (2a)$ от боковой поверхности раската. Тогда

$$h = 0,6 (2a) = 0,6 \cdot 89 = 53,4 \text{ мм,}$$

$$P = \frac{M}{h} = \frac{327\,400}{53,4} = 6120 \text{ кг} [60 \text{ кн}].$$

8. Мощность, расходуемая на кантование раската (без учета сил трения о кантующее устройство) N (V, 20):

$$N = M \dot{\gamma} = 327\,400 \cdot 0,000525 \cdot 585 = 100\,000 \text{ кг}\cdot\text{мм/сек} = 0,98 \text{ квт.}$$

В заключение определим величину момента сопротивления, возникающего при кантовке раската прямоугольного сечения 190×270 мм ($a = 135$ мм; $b = 85$ мм; $m = 1,59$) на непрерывно-заготовочном стане 720. Раскат этого сечения передается из I во II клетку стана с кантовкой с помощью кантующих валков на 90° ($\varphi_{\text{к}} = 90^{\circ}$). Расстояние между клетями

$L_{\text{к}} = 5200$ мм, скорость прокатки $v = 0,415 \frac{\text{м}}{\text{сек}}$, температура раската

$t_{\Pi} = 1100^{\circ}\text{C}$, сталь Ст. 3 сп.

В результате совершенно аналогичного расчета получаем

$$\theta = 0,000302 \text{ 1/мм};$$

$$t = 0,00241 \text{ сек};$$

$$\gamma_{\text{ср}} = 0,022 \approx 2,2\%;$$

$$\dot{\gamma} = 9 \frac{1}{\text{сек}}; k = 3,14 \text{ кг/мм}^2 [30,8 \text{ н/мм}^2];$$

$$\Pi = 10 \text{ кг/мм}^2 [98 \text{ н/мм}^2];$$

$$M = 9680 + 1150 = 10830 \text{ кг}\cdot\text{м} [106,3 \text{ кн}\cdot\text{м}];$$

$$N = 1350 \text{ кг}\cdot\text{м/сек} [13,2 \text{ квт}].$$

В последних примерах расчетная величина момента более чем в 1,5 раза превышает величину, полученную при обычных расчетах. Увеличение момента за счет упрочнения составляет в первом примере всего 4,25%. Такое небольшое увеличение момента вследствие упрочнения объясняется очень низкими значениями относительных углов закручивания ($\theta = 0,0005251/\text{мм}$), характерными для мелкосортных непрерывных станов. Увеличение размеров кантуемого сечения во втором примере повышает величину этой добавки до 12%.

Глава VI

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕЙСТВИЯ РОЛИКОВОЙ ПРОВОДКОВОЙ АРМАТУРЫ

22. Экспериментальная установка

На рис. 82 изображена вводная роликовая проводка, оборудованная для проведения экспериментов измерителями усилий.

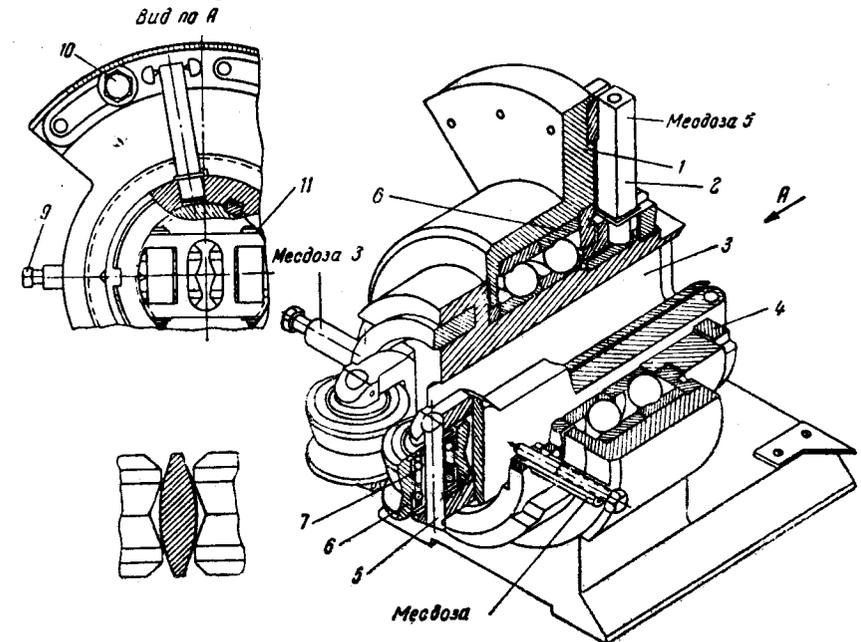


Рис. 82. Экспериментальная вводная проводка:

1 — корпус проводки; 2 — балочка; 3 — поворотная втулка; 4 — роликодержатель; 5 — ось ролика; 6 — удерживающий ролик; 7 — шарикоподшипник ролика; 8 — шарикоподшипники поворотной втулки; 9 — регулировочный болт; 10 — стопорный болт; 11 — ось роликодержателя

Проводка состоит из корпуса 1, в котором на шарикоподшипниках 8 помещена цилиндрическая втулка 3. Втулка имеет два сквозных продольных паза, в которых на осях (пальцах) 11 укреплены вильчатые роликодержатели 4. В вилках роликодер-

жателей 4 на осях 5 смонтированы удерживающие ролики 6, оснащенные шарикоподшипниками 7.

Изменение расстояния между осями роликов осуществляется с помощью регулировочных болтов 9, которые помещены в специальных трубчатых кожухах, впрессованных во втулку 3. Кожухи регулировочных болтов одновременно являются корпусами мездоз (рис. 83) для измерения распорных усилий, действующих

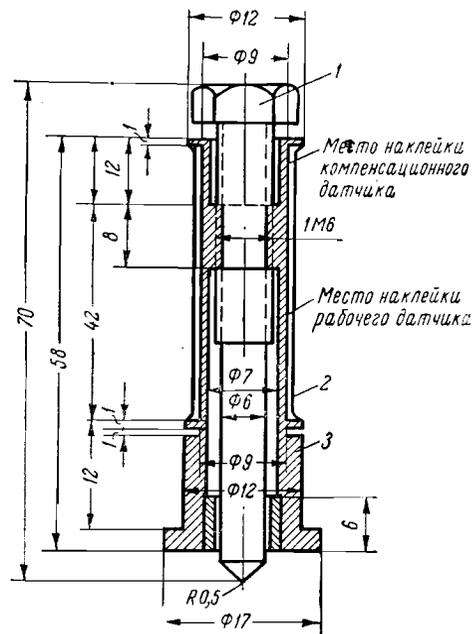


Рис. 83. Мездоза для замера распорных усилий:

1 — регулировочный болт; 2 — защитная рубашка; 3 — корпус мездозы

на ролики при удерживании раската.

Поворот роликов вокруг оси прокатки осуществляется вращением втулки 3, положение которой фиксируется балочкой 2. Балочка 2 одним концом запрессована в поворотную втулку 3, а вторым концом опирается на специальные призматические опоры. Опоры балочки помещены на подвижной дуге, которая имеет возможность перемещаться в кольцевом пазу корпуса проводки и стопориться в требуемом положении стопорными болтами 10.

На корпусе проводки над кольцевым пазом, в котором перемещается подвижная дуга, нанесена шкала, позволяющая судить о величине поворота втулки 3 и удерживающих роликов.

Таким образом, в опыте просто и довольно точно определялся угол (с вертикальной плоскостью), под которым раскат задавался в калибр.

Балочка 2, удерживающая ролики в заданном положении и воспринимающая через раскат скручивающий момент, передаваемый на проводку, была использована в установке в качестве третьей мездозы.

Собранная проводка крепится на проводковом брусе в подвижной каретке, которая имеет возможность перемещаться вдоль бочки валка. Регулировка положения проводки в вертикальной плоскости, необходимая при первоначальной установке, производится перемещением проводкового бруса.

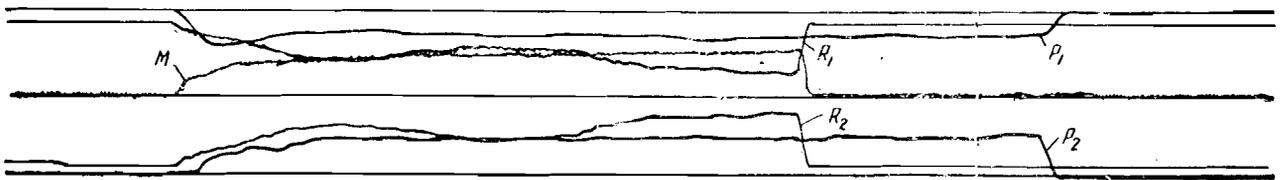
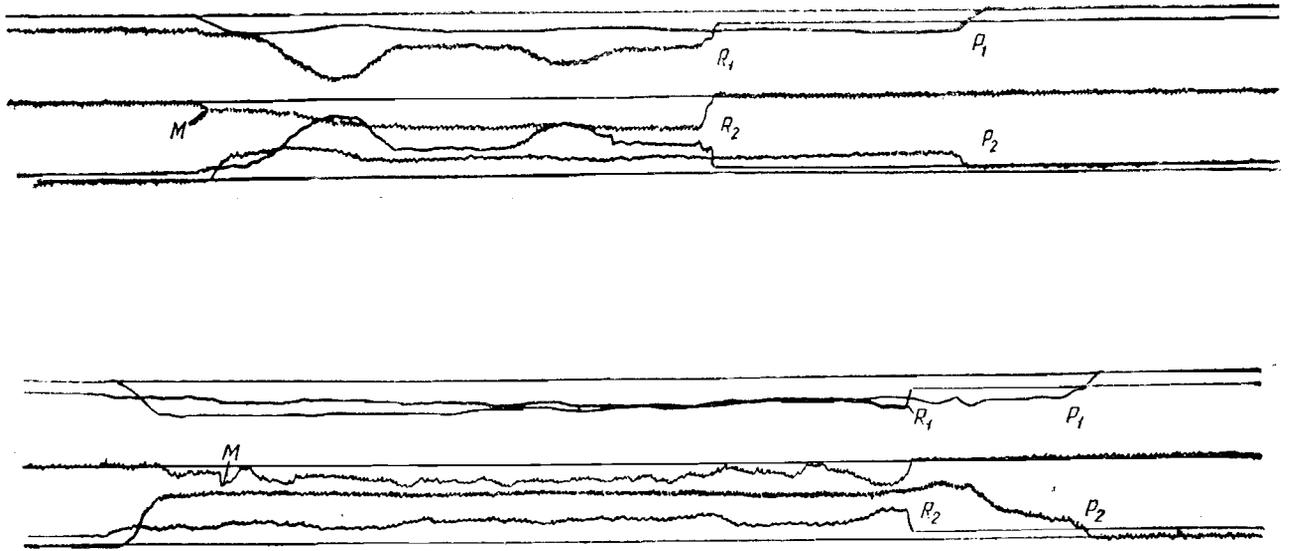
Для изменения расстояния между роликами и валками предусмотрена возможность перемещения проводки в каретке вдоль оси прокатки. На каретке прикреплен мерная линейка, на которой отмечается расстояние от оси роликов до линии центров (или плоскости входа) прокатных валков.

Таким образом, разработанная конструкция позволяет производить задачу раската в валки под разными углами, размещать ролики проводки на различном расстоянии от валков, а также регулировать в процессе опытов расстояние между роликами, не меняя положения проводки.

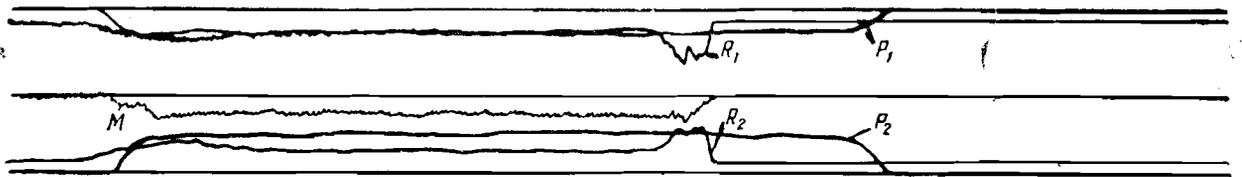
Рабочим телом мездоз для измерения распорных усилий, действующих на удерживающие ролики, служат кожухи регулировочных болтов. Разрез такой мездозы изображен на рис. 83. Из рисунка видно, что нижняя часть корпуса (кожуха) 3, на которую вдоль оси наклеивался рабочий датчик, работает при нагружении регулировочного болта 1 на растяжение. Компенсационный датчик клеился поперек в верхней части корпуса, которая не испытывает деформаций при работе проводки. В качестве датчиков как в этих, так и в остальных мездозах использовались стандартные проволочные константановые датчики сопротивления с базой 20 мм и сопротивлением 200 Ом.

Датчики клеились к корпусу клеем БФ-2, после чего сушились 2 суток при комнатной температуре, а затем 2 ч выдерживались в термостате при температуре 100°С. Корпус мездозы со смонтированными на нем датчиками закрывался защитной рубашкой 2. Токонесущие провода выводились сквозь отверстие в рубашке, после чего это отверстие заливалось смолой.

Мездозой для измерения моментов, возникающих при сваливании раската, служит балочка, чертеж которой приведен на рис. 84. Балочка 1 имеет форму прямоугольной призмы. Ее нижний конец круглого сечения диаметром 10 мм запрессовывается в верхнюю часть цилиндрической поворотной втулки проводки. На боковых гранях балочки выфрезерованы гнезда для размещения датчиков и коммуникационных проводов. Датчики клеятся по одному на сторону и размещаются так, чтобы их базы были параллельны оси балочки. После наклейки датчиков



a



b

Рис. 89. Типичные осциллограммы:

a — малый овал в круг (образец № 10, табл. 17) свернут при захвате; *б* — малый овал, в круг (образец № 24, табл. 17); прокатан без свертывания; *в* — малый овал в квадрат (образец № 47, табл. 18) свернут при захвате; *г* — малый овал в квадрат (образец № 52, табл. 18) прокатан без свертывания

на нажимные винты (P_1, P_2). Заполнение очага деформации металлом происходит в момент 2 и характеризуется выравниванием кривых давлений. Величина ординат P_1 и P_2 в этой области осциллограммы определяется давлением, возникающим при ребровом раскаты овального сечения. По мере дальнейшего скручивания раската величина обжатия уменьшается и достигает минимума вблизи участка 3, когда образец оказывается сваленным полностью. Уменьшение обжатия в связи с проворачиванием овала в калибре вызывает плавное снижение давлений. Резкое падение кривых давления возле участка 3 совпадает по времени с прекращением роста кривых моментов и объясняется полным сваливанием раската в валках. Начиная с этого

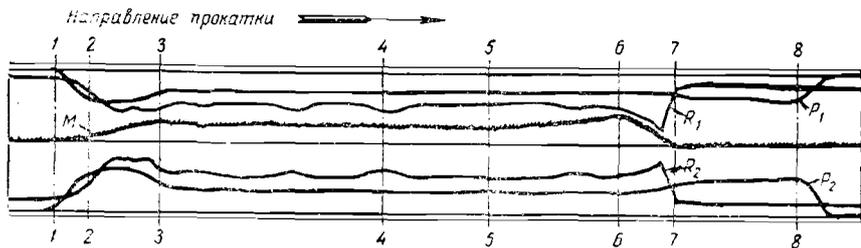


Рис. 90. Рабочая схема типовой осциллограммы

времени, кривая моментов M занимает горизонтальное положение (участок 3—5), а величина скручивающего момента остается постоянной.

Небольшое увеличение величины скручивающего момента перед выходом образца из роликов проводки (на участке 5—6) происходит вследствие более низкой температуры заднего конца раската. Наличие температурного перепада между передним и задним концами раската объясняется не только различным временем остывания этих концов, но также тем, что задний конец при нагреве располагается у выхода из печи и прогревается хуже. Кроме этого, задние концы при передаче образцов к стану охлаждаются более интенсивно вследствие контакта с клещами. По этой же причине на участке 5—6 наблюдается небольшое повышение кривых распорных усилий R_1 и R_2 , а на участке 7—8 — кривых давлений на валки P_1 и P_2 . Несовпадение роста этих кривых на осциллограммах вызвано тем, что участки полосы, находящиеся в роликах проводки, попадают в валки с запаздыванием во времени, причем величина запаздывания зависит от расстояния между роликами и валками.

Резкий всплеск кривых распорных усилий, совпадающий по времени с выходом заднего конца раската из проводки (возле участка 7), связан с уменьшением плеча приложения распорных усилий по мере выхода раската из зева роликов. Момент времени, обозначенный на осциллограмме цифрой 7, отмечает выход

раската из роликов проводки. Выход раската из прокатных валков происходит в момент 8.

Из рис. 90 видно, что кривые R_1 и R_2 имеют неравномерный характер даже в интервале 3—5, в котором величины момента и давления на валки остаются постоянными. Это обстоятельство связано с наличием небольших изгибов, неровностей и других дефектов по длине полосы, прохождение которых через ролики проводки фиксируется высокочувствительными мсдозами № 3 и 4.

Анализ осциллограмм, полученных в результате опытов, проиллюстрированный на примере схематичной осциллограммы рис. 90, позволил выработать принципы правильного замера ординат кривых регистрируемых параметров. При расшифровке пленок величина скручивающего момента определялась по ординатам кривой M , замеренным на участке 3—5, характерным горизонтальным положением кривых M, P_1 и P_2 . В этом же месте замерялись ординаты кривых давлений. Общее давление металла на валки находилось суммированием давлений под нажимными винтами. Ординаты кривых распорных усилий R_1 и R_2 замерялись в интервале, характеризуемом постоянным значением M , по наиболее низким точкам кривых R_1 и R_2 . Величина распорного усилия, действующего на ролики проводки при сваливании раската в валках, принималась равной среднему из значений R_1 и R_2 .

Как показали опыты, величина момента, возникающего при сваливании раската в валках, зависит от геометрических размеров скручиваемого сечения, температуры деформации и положения проводки относительно прокатных валков. Положение проводки относительно валков наиболее полно может быть охарактеризовано с помощью относительного угла закручивания θ . В опытах относительный угол закручивания определялся по формуле

$$\theta = \frac{\pi - \varphi}{L} \text{ рад/мм},$$

где φ — угол наклона роликов проводки, рад;

L — расстояние между роликами и валками, мм.

Данные, полученные в результате расшифровки осциллограмм и вычисления остальных параметров опытов, приведены в табл. 16, 17 и 18.

При обработке осциллограмм были отобраны наиболее надежные данные, полученные при полном сваливании раскатов в валках, т. е. в расчеты были введены значения скручивающих моментов, соответствующие относительным углам закручивания от 0,0049 до 0,0175 $\frac{1}{\text{мм}}$. Форма и степень зависимости M от θ

были установлены с помощью методов корреляционного анализа [89]. После необходимых вычислений был установлен вид

Таблица 16

Результаты экспериментальных замеров и расчетов по теоретическим формулам (прокатка в круглом калибре № 3)

№ образца	Результаты замеров			Результаты расшифровки осциллограмм						Расчетное значение M при $t_c = 1070^\circ \text{C}$		Примечание	
	положение проводки			t_{II} °C	P		R		M		н.м		кг.м
	φ рад	L мм	θ 1/мм		кн	T	н	кг	н.м	кг.м			
1	0	248	—	1126	37,7	3,85	491	50,2	0	0	—	—	
2	0,087	248	—	1076	48,0	4,89	164	16,7	2,06	0,21	—	—	IV*4
3	0,175	248	—	1086	30,6	3,12	220	22,4	2,06	0,21	—	—	
4	0,262	248	—	1086	39,4	4,02	181	18,4	2,65	0,27	—	—	
5	0,349	248	0,0049	1076	28,6	2,91	593	60,5	8,73	0,89	13,5	1,38	
6	0,349	198	0,0062	1096	29,7	3,03	852	87,0	7,85	0,80	14,0	1,43	
7	0,349	148	0,0083	1106	39,6	4,04	884	90,2	12,0	1,22	15,4	1,57	II*2
8	0,349	98	0,0125	1046	45,5	4,64	1630	166,2	14,3	1,46	17,5	1,78	
9	0,349	83	0,0147	1026	41,2	4,21	1130	115,0	15,3	1,56	18,6	1,90	
10	0,262	83	—	1006	51,5	5,25	223	22,7	2,06	0,21	—	—	I*1
11	0,262	138	—	1016	36,4	3,71	226	23,0	3,14	0,32	—	—	IV
12	0,297	138	0,0093	1046	42,2	4,30	931	95,0	13,0	1,32	15,8	1,61	
13	0,297	98	0,0130	1086	38,6	3,94	1452	148,2	13,7	1,40	17,7	1,80	II
14	0,297	83	0,0154	1096	44,2	4,52	1350	137,7	16,1	1,64	19,1	1,95	
15	0,297	83	0,0154	1106	43,2	4,42	1380	140,7	15,3	1,56	19,1	1,95	
16	0,279	83	—	1096	32,2	3,28	107	10,9	1,57	0,16	—	—	I
17	0,279	118	0,0110	1076	29,1	2,97	936	95,4	12,8	1,30	16,6	1,69	III*3
18	0,279	148	0,0087	1086	29,0	2,95	1065	108,5	11,7	1,19	—	1,60	II
19	0,279	178	0,0073	1046	43,5	4,44	775	79,0	11,4	1,16	15,7	1,52	III
20	0,262	178	0,0074	1036	37,6	3,83	1292	130,2	13,3	1,36	15,2	1,55	II
21	0,227	228	0,0059	1056	31,3	3,19	980	100,8	9,8	1,00	14,4	1,47	III
22	0,227	178	—	1036	42,7	4,35	164	16,7	1,28	0,13	—	—	IV
23	0,227	148	—	1046	45,2	4,62	250	25,5	1,28	0,13	—	—	IV
24	0,227	78	—	1056	41,8	4,27	328	33,4	3,24	0,33	—	—	I

- *1 I — прокатан без свертывания,
 *2 II — свернут в валках при захвате.
 *3 III — свернут в валках на половине длины.
 *4 IV — задний конец свернут после выхода из проводки.

Таблица 17
Результаты экспериментальных замеров и расчетов по теоретическим формулам (прокатка в круглом калибре № 5)

№ образца	Результаты замеров			Результаты расшифровки осциллограмм				Расчетное значение M при $t_c = 950^\circ \text{C}$		Примечание			
	положение проводки			t_{II} °C	P		R		н.м		кг.м		
	φ , рад	L, мм	θ , 1/мм		кн	T	н	кг					
1	0	123	—	970	33,4	3,40	0	0	0	—	—	I*1	
2	0	123	—	930	33,8	3,44	702	70,6	0	0	—	—	IV*4
3	0	72	—	980	27,7	2,82	70,6	7,2	0	0	—	—	
4	0,087	88	—	970	42,7	4,35	151	15,4	1,6	0,161	—	—	
5	0,175	88	—	950	44,6	4,54	213	21,7	1,6	0,160	—	—	
6	0,262	88	0,0149	950	29,0	2,95	820	83,3	7,4	0,751	7,8	0,793	
7	0,262	88	0,0149	970	19,1	1,95	874	89,0	5,8	0,593	7,8	0,793	
8	0,262	128	0,0102	980	21,8	2,22	716	72,9	5,3	0,538	7,1	0,725	
9	0,262	168	0,0078	970	22,4	2,28	550	56,1	4,8	0,484	6,7	0,678	
10	0,262	208	0,0063	950	22,0	2,24	603	60,5	4,8	0,484	6,4	0,654	
11	0,262	248	0,0053	960	27,5	2,80	864	88,0	5,5	0,558	6,0	0,609	
12	0,262	248	0,0053	960	27,7	2,82	673	68,6	5,0	0,505	6,0	0,609	
13	0,209	248	0,0055	950	24,2	2,47	490	49,8	4,8	0,484	6,0	0,609	
14	0,175	248	0,0056	920	26,8	2,73	633	64,6	4,2	0,430	6,0	0,609	
15	0,175	248	0,0056	980	19,5	1,99	432	44,1	3,7	0,376	6,0	0,609	
16	0,122	248	—	920	18,4	1,87	92	9,4	0	0	—	—	IV
17	0,122	248	—	980	23,2	2,36	114,0	11,6	0	0	—	—	III
18	0,175	208	0,0067	950	2,56	2,61	602	61,4	5,0	0,505	6,4	0,654	II*2
19	0,175	168	0,0083	930	22,9	2,33	630	64,1	4,9	0,494	6,7	0,678	I
20	0,175	168	—	950	40,2	4,10	161	16,4	1,05	0,107	—	—	

№ образца	Результаты замеров				Результаты расшифровки осциллограмм						Расчетное значение M при $t_c = 950^\circ C$		Примечание
	положение проводки			t_{II} °C	P		R		M		н · м	кг · м	
	φ , рад	L, мм	θ , 1/мм		кн	T	н	кг	н · м	кг · м			
21	0,175	168	—	940	32,3	3,29	70,6	7,2	0,7	0,070	—	—	} IV
22	0,175	128	—	940	25,8	2,63	575	58,6	1,9	0,193	—	—	
23	0,175	128	—	950	38,3	3,90	288	29,3	1,05	0,107	—	—	
24	0,175	88	—	960	43,3	4,41	11,8	1,2	0,2	0,021	—	—	
25	0,175	78	—	920	25,6	2,61	434	44,2	2,9	0,300	—	—	} I
26	0,175	98	—	990	25,0	2,55	217	22,1	1,05	0,107	—	—	
27	0,175	98	—	940	31,5	3,21	78,5	8,0	1,05	0,107	—	—	
28	0,175	128	—	930	35,7	3,64	207	21,1	1,9	0,193	—	—	
29	0,175	208	—	980	29,5	3,01	0	0	0	0	—	—	} III
30	0,175	168	0,0083	940	25,8	2,63	795	81,0	5,0	0,505	6,7	0,678	
31	0,175	168	—	940	35,1	3,58	0	0	0	0	—	—	} I
32	0,175	78	—	930	30,2	3,08	0	0	0	0	—	—	
33	0,162	78	—	920	30,5	3,11	129	13,1	0,9	0,094	—	—	} II
34	0,297	88	0,0145	950	25,7	2,64	1630	166,5	6,9	0,700	7,6	0,772	
35	0,279	128	0,0101	940	31,7	3,23	1050	107,5	7,4	0,752	7,1	0,726	III
36	0,279	168	—	960	33,4	3,40	11,8	1,2	0	0	—	—	I
37	0,279	168	0,0077	930	20,8	2,12	643	65,5	5,8	0,591	6,7	0,678	II
38	0,279	208	—	940	30,5	3,11	19,6	2,0	0	0	—	—	I
39	0,279	208	0,0062	930	24,8	2,53	651	66,3	5,8	0,591	6,4	0,654	II

*1 I — прокатан без свертывания.
 *2 II — свернут в валках при захвате.
 *3 III — свернут в валках на половине длины.
 *4 IV — задний конец свернут после выхода из проводки.

Таблица 18

Результаты экспериментальных замеров и расчетов по теоретическим формулам (прокатка в квадратном калибре № 6)

№ образца	Результаты замеров				Результаты расшифровки осциллограмм						Расчетное значение M при $t_c = 920^\circ C$		Примечание
	положение проводки			t_{II} °C	P		R		M		н · м	кг · м	
	φ , рад	L, мм	θ , 1/мм		кн	T	н	кг	н · м	кг · м			
40	0	78	0	950	27,8	2,84	0	0	0	0	0	0	} I*1
41	0,087	78	-0,00112	920	27,5	2,80	272	27,7	2,11	-0,215	-4,7	-0,477	
42	0,175	78	-0,00224	910	27,5	2,80	367	37,4	-3,16	-0,323	-4,9	-0,500	
43	0,262	78	0,0167	910	40,6	4,14	2190	223	8,8	0,893	8,8	0,900	
44	0,262	248	-0,00106	900	29,0	2,95	1250	127,5	-2,33	-0,237	-4,4	-0,447	} I
45	0,297	248	-0,00120	900	26,5	2,70	776	79,2	-3,16	-0,323	-4,5	-0,462	
46	0,349	248	0,0049	920	34,1	3,47	880	89,5	4,8	0,484	6,5	0,660	} II
47	0,349	198	0,0062	910	33,5	3,42	814	82,9	5,5	0,558	6,8	0,690	
48	0,349	148	0,0083	930	35,7	3,64	980	99,8	7,2	0,730	7,3	0,740	} I
49	0,349	78	0,0157	900	35,7	3,64	937	95,5	7,4	0,754	8,4	0,860	
50	0,262	78	-0,00336	890	29,4	2,99	1460	148,7	-3,3	-0,333	-5,4	-0,548	} II
51	0,262	128	0,0102	910	34,8	3,55	865	88,3	6,3	0,645	7,7	0,780	
52	0,262	128	-0,00205	920	33,5	3,42	342	34,9	2,6	-0,269	-5,0	-0,508	} I
53	0,262	168	-0,00156	930	33,9	3,45	200	20,4	-2,1	-0,215	-4,8	-0,488	
54	0,209	168	0,0081	910	34,8	3,55	880	89,5	6,3	0,645	7,3	0,740	} II
55	0,209	128	0,0106	920	41,3	4,20	772	78,7	6,9	0,698	7,7	0,780	
56	0,209	78	-0,00268	920	31,4	3,19	280	28,6	-3,5	-0,354	-5,1	-0,521	} I
57	0,209	78	0,0175	930	34,8	3,55	1450	147,7	7,7	0,786	8,9	0,910	
58	0,209	248	-0,00085	920	39,0	3,98	551	56,2	-1,6	-0,161	-4,3	-0,435	} I
59	0	78	0	930	29,7	3,03	0	0	0	0	0	0	

*1 I — прокатан без свертывания.
 *2 II — свернут в валках при захвате.

эмпирической линии регрессии. Считая незначительные отклонения точек эмпирической линии регрессии случайными, а также имея в виду график рис. 69, можно с достаточной степенью достоверности предположить, что в данном случае имеет место прямолинейная корреляционная зависимость $\bar{y}_x = ax + b$.

Для нахождения коэффициентов уравнения прямой регрессии была вычислена условная теоретическая линия $y' = a'x' + b'$, а затем заменой переменных

$$y' = \frac{y - y_0}{h_y}$$

и

$$x' = \frac{x - x_0}{h_x}$$

осуществлен переход к искомой теоретической линии, в результате чего уравнения регрессии были приведены к виду

$$nb' + a' \Sigma m_x x' = \Sigma m_x \bar{y}'_x,$$

$$[b' \Sigma m_x x' + a' \Sigma m_x (x')^2 = \Sigma m_x x' \bar{y}'_x,$$

Заменяя переменные и переходя к принятым ранее обозначениям, получаем окончательные уравнения линий регрессии.

а. Для данных, полученных при прокатке больших образцов в круглом калибре № 3 (табл. 16)

$$M = 0,0650 + 0,643. \quad (VI, 1)$$

б. Для данных, полученных при прокатке малых образцов в круглом калибре № 5 (табл. 17)

$$M = 0,0210 + 0,358. \quad (VI, 2)$$

в. Для данных, полученных при прокатке малых образцов в квадратном калибре № 6 (табл. 18)

$$M = 0,0210 + 0,444. \quad (VI, 3)$$

23. Результаты экспериментов

Наблюдения за прокаткой образцов с овальным поперечным сечением в круглых калибрах показали следующее. У круглых калибров полностью отсутствуют «центрирующие» свойства в смысле способности устанавливать овальные раскаты в правильное положение, если они задавались в калибр так, что большая ось сечения не располагалась вертикально. Даже небольшой (в 3—5°) первоначальный наклон сечения приводит к получению круглого профиля, имеющего искаженную, несимметричную форму. Мало того, искажение формы выходящего профиля наблюдалось и при нормальном положении роликов вводной проводки, если последняя находилась на значительном удалении от

валков. Полное сваливание овальных раскатов в круглых калибрах происходило во всех случаях, когда угол наклона задаваемого сечения превышал 17°.

Кроме этого, установлено, что сваливание овала происходит тем легче, чем меньше размеры его сечения. Сваливание малых овалов наблюдалось при минимальном угле наклона в 7°, больших — в 10°. Таким образом, интервал от 7 до 17° для малых образцов и от 10 до 17° для больших — характеризуется неустойчивым поведением овальной полосы в круглом калибре.

При прокатке овалов, задаваемых в квадратные калибры с небольшим наклоном большей оси сечения (менее 10°), совершенно ясно проявлялось «центрирующее» действие калибра. Задаваемая полоса в этом случае скручивалась в направлении, обратном первоначальному наклону, т. е. калибр стремился установить входящее овальное сечение на ребро. При этом, если первоначальный перекося сечения был небольшим (менее 5—7°), то выходящее квадратное сечение имело правильную форму, не отличающуюся от формы профиля, полученного при нормальной задаче раската. Если первоначальный угол наклона превышал 7°, то выходящее сечение имело искаженную асимметричную форму. При угле наклона в 20° во всех случаях наблюдалось полное сваливание овала в квадратном калибре. В интервале от 10 до 20° поведение раската было неустойчивое. Некоторые образцы при таких углах наклона прокатывались без сваливания, но имели искаженную форму профиля, другие — полностью сваливались валками во время прокатки.

Результаты расшифровки осциллограмм полностью согласуются с данными, полученными из наблюдений за поведением раскатов при прокатке. Действительно, как видно из табл. 18, скручивающий момент, действующий на полосу при прокатке в квадратных калибрах, имеет отрицательное значение, когда ролики, проводки наклонены, но раскат не сваливается в валках. Это означает, что момент, действующий на раскат, направлен в сторону, обратную первоначальному наклону задаваемого сечения и стремится установить его на ребро. Величина этого момента достигает примерно одной трети величины момента при сваливании. Если раскат задается в калибр так, что большая ось сечения расположена вертикально (табл. 18, образцы № 40, 59), то скручивающий момент равен нулю.

Из табл. 18 видно также, что величина скручивающего (или «центрирующего») момента возрастает с увеличением относительного угла закручивания θ . Для выяснения вида зависимости между скручивающим моментом и относительным углом закручивания был построен график, изображенный на рис. 91. После нанесения на график опытных точек (на рис. 91 они обозначены ...) по ним были построены кривые 1 и 3. Точки кривой 3, находящейся в отрицательной области графика, относятся к образцам, которые не сваливались валками при прокатке. Угол

закручивания для этих образцов принимался равным углу наклона роликов вводной проводки. При этом предполагалось, что калибр выравнивает («центрирует») входящее сечение.

Точки кривой 1, описываемой уравнением (VI, 3) соответствуют данным, полученным при полном сваливании образцов в квадратном калибре. Часть кривой 1, изображенная на графике пунктирной линией, представляет собой кривую 3, перенесенную

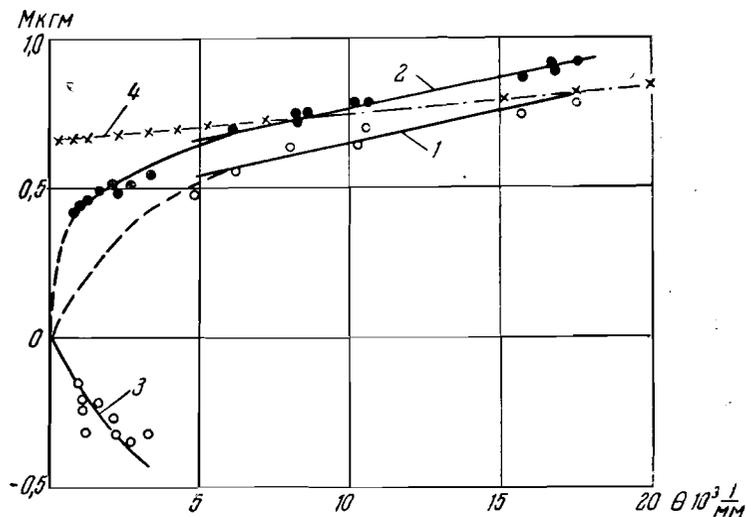


Рис. 91. Зависимость $M = \Phi(\theta)$, полученная при прокатке малых образцов в квадратном калибре № 6

в положительную область графика. Допустимость такого переноса основывается на том, что абсолютная величина скручивающего момента не зависит от его знака.

Фактически при прокатке овалов в квадратных калибрах зависимость $M = \Phi(\theta)$, по-видимому, должна иметь вид кривой, объединяющей в себе как кривую 3, так и кривую 1 (без пунктирной части) и располагающуюся как в отрицательной, так и в положительной областях графика. Переход этой кривой через ось абсцисс ($M = 0$) должен соответствовать такому углу наклона раската, при котором он и не сваливается и не центрируется калибром. Такое положение раската крайне неустойчиво, поэтому при проведении опытов его обнаружить не удалось. Примерное положение точки пересечения оси абсцисс кривой $M = \Phi(\theta)$ в условиях опыта совпадает с точкой $\theta = 4 \cdot 10^3$ 1/мм, точнее, лежит в интервале $\theta \cdot 10^3$ 1/мм = 3,4—4,9, что соответствует предварительным углам наклона в 10—20°.

На графике рис. 91 для сравнения нанесена также кривая 2. Точки этой кривой получены расчетом по предлагаемой методике, изложенной ранее (гл. V), и обозначены ∞ . В расчете

в качестве исходных принимались данные соответствующих опытных точек, т. е. для каждой точки кривой 1 расчетным путем находились соответствующие точки кривой 2. Значения пределов текучести при сдвиге определялись из графиков А. А. Динника [69] для стали Ст. 3сп и температуры прокатки $t_{II} = 920^\circ \text{C}$ (средняя температура прокатки данной серии образцов $916,5^\circ \text{C}$).

Исходные данные и результаты расчета сведены в табл. 18. Из таблицы видно, что кривая 2, как и кривая 1, являются функциями не только степени (θ), но и скорости деформации ($\dot{\gamma}$), которая в интервале опытов изменялась от 0,66 до 13,1 1/сек. Изменение скорости деформации определенным образом отразилось на форме кривых. Наиболее заметно это влияние проявилось в области малых значений θ , где изменение скорости деформации происходило особенно резко. Для наглядного представления о влиянии, которое оказывает на форму кривых 1 и 2 переменная скорость деформации, на графике штрих-пунктирной линией нанесена кривая 4, изображающая зависимость $M = \Phi(\theta)$ при $\dot{\gamma} = \text{const}$. Точки этой кривой определялись аналогичным расчетом для температуры $t_{II} = 920^\circ \text{C}$ и скорости деформации $\dot{\gamma} = 6 \frac{1}{\text{сек}}$.

Из графика рис. 91 видно, что в интервале опытов зависимость $M = \Phi(\theta)$ описывается (V, 3) прямой 1, практически параллельной (линии незначительно сближаются с увеличением θ), линии 2, полученной в результате теоретических расчетов. Средняя величина разницы ординат этих линий составляет 15,2%.

Поскольку теоретическая прямая 2 строилась с использованием значений истинных напряжений, полученных в опытах [69] на сжатие, наличие такого расхождения не является неожиданностью.

Опытные данные ряда исследователей [65, 69, 79—83] убедительно свидетельствуют, что напряжения, соответствующие эквивалентным деформациям, при испытаниях на растяжение и сжатие заметно отличаются по величине для одного и того же материала. В зависимости от условий деформации и марки стали эта разница колеблется от 10 до 20%.

С другой стороны, величины истинных пределов текучести, полученных при испытаниях на растяжение и кручение, очень близки. Таким образом, при внесении поправки на различие в значениях пределов текучести при сжатии и кручении величины ординат опытной (1) и расчетной (2) кривых будут различаться всего на 3—5%. Это несоответствие, по-видимому, следует отнести за счет неизбежной неточности опыта.

Расшифровка осциллограмм, полученных при прокатке овальных образцов в круглых калибрах (табл. 16 и 17), показала, что и в этом случае при вертикальном положении большой оси зада-

ваемого сечения. скручивающий момент равен нулю (табл. 16, образец № 1 и табл. 17, образцы № 1, 2, 3). Однако даже при самых незначительных отклонениях от такого положения на входящий раскат действовал момент, направленный в сторону сваливания.

При небольших (до 7—10°) углах наклона величины скручивающих моментов невелики, а иногда (табл. 17, образцы № 16, 17, 24, 29, 31, 32, 36, 38) равны нулю и сваливания раскатов не происходит. Кривые моментов на осциллограммах, полученных при прокатке таких образцов, имеют неравномерный «пилообразный» характер (рис. 89, б). Никакой закономерности между углом наклона сечения и величиной скручивающего момента не наблюдается. Эти обстоятельства позволяют предположить, что прокатка слегка наклоненной овальной полосы в круглом калибре является неустойчивым процессом. Поэтому на поведение прокатываемой полосы существенное влияние оказывают приходящие факторы (температура, окалина, форма переднего торца раската и т. д.).

При углах наклона в 7—17° всплески «пилообразных» кривых моментов на осциллограммах увеличиваются. На некоторых осциллограммах такие всплески переходят в нарастающую кривую, что соответствует постепенному сваливанию образца во время прокатки.

Увеличение угла наклона задаваемого сечения сверх 17° приводит к сваливанию раската в калибре. Характер осциллограмм в этом случае совершенно идентичен с осциллограммами, полученными при сваливании овалов в квадратном калибре (рис. 89, а).

Обработка этих данных методами математической статистики позволила получить уравнения прямых, наилучшим образом проходящих через имеющиеся поля опытных точек. Полученные уравнения (V, 1), (V, 2), а также опытные точки (•••), через которые проходят эти прямые, изображены на графиках рис. 92, 93.

На этих же графиках помещены прямые, проведенные через эквивалентные точки, полученные расчетом по предлагаемой методике (•••).

Оба графика имеют одинаковый вид, идентичный виду графика рис. 90. Опытные прямые направлены почти параллельно теоретическим. Среднее превышение ординат расчетных прямых над опытными составляет 21,7% для больших овалов и 20,8% для малых. Причина несовпадения опытных данных с расчетными пояснена выше.

Величина плеча распорного усилия R при принятой профилировке роликов проводки зависит от геометрических размеров задаваемого сечения и зазора между раскатом и роликами. Анализ этой зависимости может быть произведен с помощью схемы рис. 94.

Из чертежа видно, что если большая ось овала расположена параллельно оси ролика и зазор Δ между раскатом и роликами равен нулю, то величина плеча e_0 приложения силы Q , дейст-

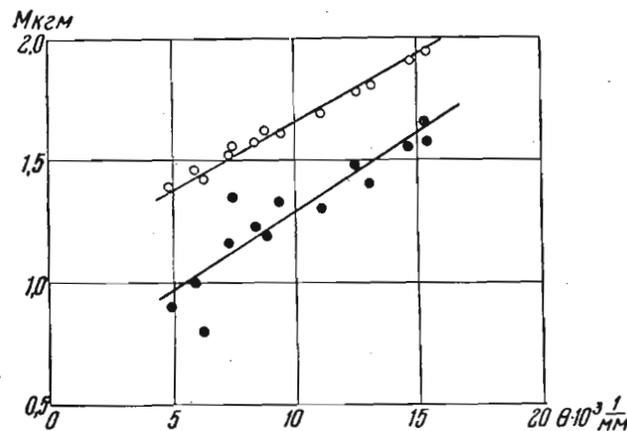


Рис. 92. Зависимость $M = \Phi(\theta)$, полученная при прокатке больших образцов в круглом калибре № 3

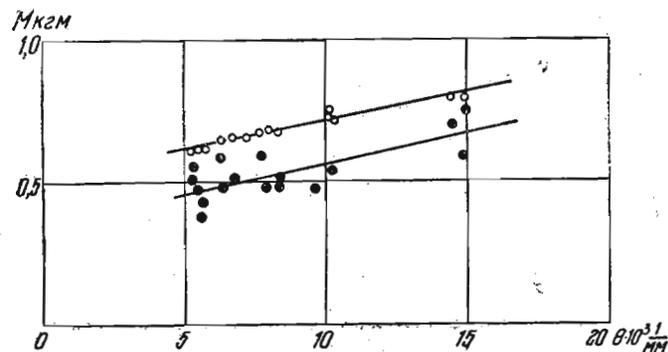


Рис. 93. Зависимость $M = \Phi(\theta)$, полученная при прокатке малых образцов в круглом калибре № 5

вующей на ролик при сваливании раската, определяется простым выражением

$$e_0 = \left(r - \frac{h}{2} \right) \cos \frac{\alpha}{2}, \quad (\text{VI}, 4)$$

где r — радиус овала;

h — толщина овала;

α — угол между образующими ручья ролика.

С другой стороны, величина момента, действующего на ролик при скручивании задаваемого раската, может быть представлена

как $M = 2Qe_0$. Имея в виду, что $Q = \frac{R}{\sin \alpha/2}$, величину плеча e можно найти из равенства

$$e = \frac{M}{2R} \sin \frac{\alpha}{2}, \quad (\text{VI, 5})$$

где R — распорное усилие, замеряемое мездозами № 3 и 4.

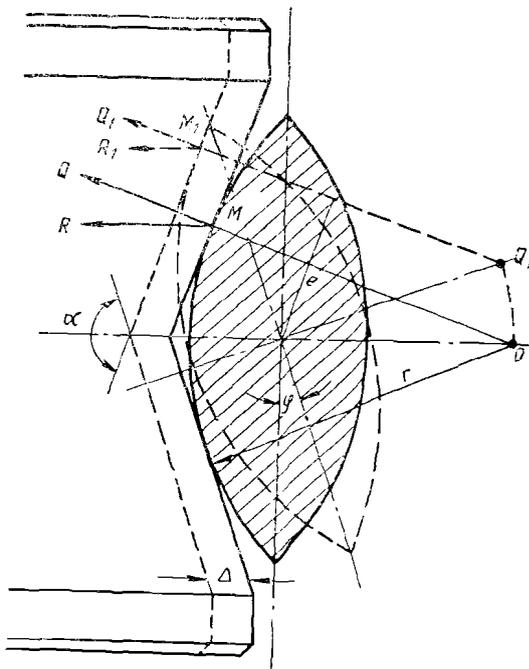


Рис. 94. Схема сил, действующих на ролики с V-образными ручьями при сваливании раската

В опытной проводке $\alpha = 145^\circ$, откуда

$$e = 0,477 \frac{M}{R}. \quad (\text{VI, 6})$$

В идеальном случае величины e_0 и e , найденные из (VI, 4) и (VI, 6), должны совпадать.

На практике между раскатом и роликами проводки всегда имеется зазор Δ . При сваливании раската наличие этого зазора вызывает поворот сечения на некоторый угол φ . Поворот овального сечения смещает точку приложения распорного усилия из положения M в новое положение M_1 и увеличивает величину плеча этой силы. Помимо этого, величина зазора Δ , а следовательно, и плеча e возрастает также за счет упругого пружинения деталей проводки при нагружении.

Зависимость между величиной первоначального зазора Δ и углом наклона сечения φ выражается уравнением

$$\Delta = \left(r - \frac{h}{2} \right) \sin \varphi \left[\operatorname{tg} \frac{\varphi}{2} + \operatorname{ctg} \frac{\alpha}{2} \right], \quad (\text{VI, 7})$$

которое с помощью несложных дополнительных построений может быть найдено из чертежа.

Величина плеча e в этом случае находится из выражения

$$e = \left(r - \frac{h}{2} \right) \cos \left(\frac{\alpha}{2} - \varphi \right), \quad (\text{VI, 8})$$

которое при $\varphi = 0$ превращается в (VI, 4).

В конкретных условиях опытов величина плеча e определяется из приведенных выражений следующим образом. При прокатке малых образцов величина зазора (на одну сторону) между раскатом и роликом составляет примерно 0,1 мм. Если принять, что упругая деформация деталей проводки при скручивании овала составляет 0,12 мм, то общая величина зазора составит $\Delta = 0,22$ мм. Зазор в 0,22 мм вызывает поворот сечения на угол $\varphi = 2^\circ$, откуда

$$e = \left(22 - \frac{5,7}{2} \right) \cos \left(\frac{145^\circ}{2} - 2^\circ \right) = 6,4 \text{ мм.}$$

Минимальное значение e при $\varphi = 0$ будет $e_0 = 5,75$ мм.

При прокатке больших образцов величина зазора с учетом упругой деформации составляет $\Delta = 0,36$ мм и соответственно $\varphi = 3^\circ$; $e = 7,0$ мм; $e_0 = 6,0$ мм.

Как показали специальные опыты с заторможенными недокатами, смятие краев овальных раскатов в роликах проводки отсутствует. Это означает, что величина плеча силы R должна соответствовать расчетной. Следовательно, если бы распорные усилия R , действующие на ролики проводки, возникали только вследствие скручивания раската, то имели бы место следующие равенства:

для малых образцов

$$R \approx 0,0745M, \quad (\text{VI, 9})$$

для больших образцов

$$R \approx 0,0681M. \quad (\text{VI, 10})$$

На самом деле величины R , полученные в опытах, значительно превышают расчетные значения. При прокатке малых образцов в круглых калибрах (табл. 17) это превышение составляет в среднем 70%, а в отдельных случаях (образцы № 11, 22, 23, 34) достигает 250—300%. Примерно такая же картина наблюдается и при прокатке овалов в квадратных калибрах (табл. 18). При прокатке больших образцов в круглом калибре (табл. 16) среднее превышение опытных значений распорных усилий над

теоретическими составляет 36%, а наибольшая разница (образец № 22) достигает 188%.

Сопоставление фактических данных, приведенных в табл. 19—21, с результатами наблюдения за поведением раската при прокатке, показало, что величина распорных усилий, действующих на удерживающие ролики, зависит от целого ряда причин. Наиболее существенное влияние на величину этих усилий оказывают зазор между раскатом и роликами, правильность установки проводки относительно калибра, наличие всевозможных неровностей по длине раската и возможность боковых смещений полосы в валках. В реальных условиях прокатки на стане устранить или хотя бы учесть степень влияния этих факторов практически невозможно. Таким образом, месдозы для замера распорных усилий на ролики могут быть использованы лишь для непосредственного определения давления металла на ролики при прокатке. С помощью таких месдоз можно также в известной мере контролировать правильность установки проводки относительно калибра. Для определения величин моментов, действующих на раскат, эти месдозы не пригодны.

Глава VII

ОСНОВЫ КОНСТРУИРОВАНИЯ РОЛИКОВОЙ ПРОВОДКОВОЙ АРМАТУРЫ

24. Выбор типа конструкции

При выборе проводковой арматуры рекомендуется исходить из следующих основных положений.

Брусья для крепления проводок должны иметь достаточную жесткость и обеспечивать точность установки. Поэтому не рекомендуется применять брусья с креплением в пазах станин с помощью клиньев и прокладок. Наиболее удачную конструкцию имеют проводковые брусья непрерывных сортовых и проволочных станов Криворожского завода (рис. 55, 58, 60) и брусья линейных сортовых станов завода «Днепроспецсталь» (рис. 4). При одностаночной прокатке рекомендуется применять проводковые брусья с механизированным перемещением коробки вдоль бочки валка с помощью ходового винта [94]. На непрерывных станах, у которых линия прокатки сохраняет постоянное положение, проводковые брусья рекомендуется крепить на специальных опорах, не связанных со станинами.

Опыт эксплуатации показал, что, по-видимому, одними из лучших являются двухроликовые (с одной парой роликов) вводные проводки.

Применение двух, а тем более большего числа пар роликов в большинстве случаев почти не улучшает условий удерживания раската перед валками, но усложняет конструкцию проводки. Наиболее удачной является конструкция двухроликовой пружинящей проводки завода «Серп и молот» (рис. 26), которая может быть использована при прокатке мелких кругов, квадратов, ромбов, полос и т. п. Можно также рекомендовать для среднесортных профилей проводку конструкции ММК (рис. 27). Для крупных сечений можно применять роликовые вводные линейки (рис. 16), устраняя по возможности недостатки, которые отмечались ранее.

Для непрерывных проволочных и мелкосортных станов наиболее подходят двухроликовые проводки, типа проводки Макеевского завода (рис. 30).

С целью выравнивания прогибов по длине раската, его направления в зев роликов и снижения нагрузки на бурты роликов рекомендуется применять чугунные или стальные приемные воронки, а на чистовых клетях горизонтальные поддерживающие ролики.

Расстояние роликов от валков необходимо выбирать конструктивно минимально возможным. Вместе с тем следует учитывать, что калибры самоцентрирующих пар овал — ребровой овал, овал — квадрат, ромб — квадрат, квадрат — овал и круг — овал позволяют помещать ролики дальше от валков. Центрирующие свойства овального калибра уменьшаются с увеличением радиуса овала. Полный овал требует более надежного удерживания в пропусках по сравнению с плоским.

В качестве выводной арматуры для большинства случаев рекомендуется применять выводные линейки (рис. 33) желательнее с роликовым проводковым брусом (рис. 7). Между валками и роликами помещают выводную проводку скольжения, с которой соприкасается только передний конец раската.

При прокатке в открытых симметричных калибрах выводные проводки могут быть заменены воронками.

Наиболее удачным типом кантующей арматуры для непрерывных станов следует признать кантующие ролики. На линейных станах при прокатке мелких простых сечений рекомендуется применять роликовые выводные кантующие трубки (рис. 41). Для кантовки средних сечений целесообразно применять конструкции проводок, изображенные на рис. 39 и 40, или роликовые кантователи (рис. 43—46).

25. Основные исходные данные для прочностного расчета деталей арматуры

Во время эксплуатации проводковая арматура испытывает сложное силовое воздействие. Характер этого воздействия зависит от типа и конструкции проводкового оборудования, способа его установки на стане, от материала, формы и размеров прокатываемого профиля и целого ряда других факторов. Точно учесть и правильно оценить комплексное влияние этих самых разнообразных факторов на условия службы арматуры чрезвычайно трудно. Именно это обстоятельство заставляет при конструировании деталей проводкового оборудования прокатных станов в большинстве случаев принимать особо высокий запас прочности.

Наибольшие усилия, на которые должны рассчитываться основные детали арматуры, могут возникнуть в трех случаях: при обрыве валками полосы, застрявшей во вводном устройстве; при торможении (пробуксовке) раската вследствие застревания его переднего или заднего концов в проводковой арматуре; при сваливании полосы валками или скручивании ее в кантующих

устройствах. Величины этих усилий могут быть определены различными методами, некоторые из которых приведены ниже.

В первом приближении усилие торможения полосы в валках Q_T может быть определено по формуле

$$Q_T \approx 2P \left(f - \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} \right), \quad (\text{VII}, 1)$$

где P — равнодействующая радиальных сил давления металла на валок;

f — коэффициент трения. Для горячей прокатки стали его следует брать равным 0,25—0,3;

α — угол захвата.

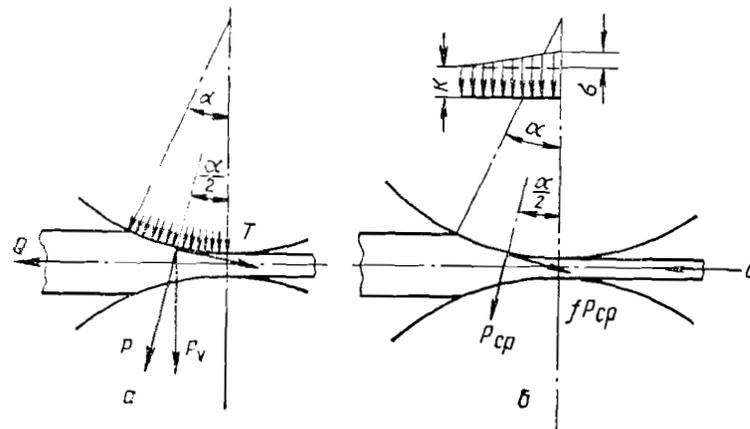


Рис. 95. Схемы к определению усилия торможения раската в валках: а — при равномерном распределении удельных давлений; б — при неравномерном

Эта формула получена из предположения, что удельные силы давления и трения равномерно распределены по дуге захвата, а их равнодействующие приложены к точке, лежащей по середине дуги контакта (рис. 95, а). Кроме этого, для упрощения выражения (VII, 1) в нем опущен множитель $\cos \frac{\alpha}{2}$, который для реальных углов захвата незначительно отличается от единицы.

Если вместо силы P известна равнодействующая сил давления и трения P_v (давление под нажимными винтами, замеряемое месдозами), то выражение для определения усилия торможения может быть записано в виде

$$Q_T \approx 2P_v \cos^2 \frac{\alpha}{2} \left(f - \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} \right) \quad (\text{VII}, 2)$$

По данным А. И. Целикова, подтверждающимися также нашими исследованиями, при торможении полосы в валках максимум эпюры удельных давлений размещается вблизи выходного

сечения. Приближенно эпюру такого типа можно представить (рис. 95, б) в виде прямоугольной трапеции, у которой разность между большей и меньшей боковыми сторонами численно равна напряжению σ (переднему подпору), соответствующему усилию торможения Q_T . Ординаты, равные меньшей стороне трапеции (эпюры удельных давлений), представляют собой истинное сопротивление пластической деформации $k = 1.15 \sigma_s$. Принятые допущения позволяют [94] выразить среднее удельное давление в зоне контакта как

$$p_{cp} = \frac{k + k + \sigma}{2} = k + \frac{\sigma}{2}.$$

На основании (VII, 1) усредненную величину усилия, необходимого для торможения полосы в валках, можно представить в виде¹

$$Q_T \approx 2p_{cp} b_{cp} l \left(f \cos \frac{\alpha}{2} - \sin \frac{\alpha}{2} \right), \quad (\text{VII, 3})$$

где b_{cp} — средняя ширина очага деформации; $l = \sqrt{R \Delta h}$ — длина горизонтальной проекции дуги захвата.

Имея в виду, что $Q_T = \sigma F$ можно записать

$$Q_T \approx \frac{2k b_{cp} l \left(f \cos \frac{\alpha}{2} - \sin \frac{\alpha}{2} \right)}{1 - \frac{1}{F} b_{cp} l \left(f \cos \frac{\alpha}{2} - \sin \frac{\alpha}{2} \right)}. \quad (\text{VII, 4})$$

В этой формуле F — площадь поперечного сечения выходящего конца полосы. Величину предела текучести металла σ_s для определения k при горячей прокатке ($\sigma_s \approx \sigma_t$) можно найти из графика Врацкого и Францевича или из данных Зуева и других [99].

Формулы (VII, 1) — (VII, 4) пригодны для нахождения усилия торможения при прокатке прямоугольных полос на гладкой бочке или в открытых ящичных калибрах со свободным уширением. При прокатке полос, имеющих сечение иной формы, усилие торможения будет больше. Для вычисления усилия торможения раскатов не прямоугольного сечения некоторые авторы [94] рекомендуют использовать те же выражения (VII, 1) — (VII, 4), а параметры очага деформации для подстановки в эти формулы находить по методу приведенных сечений, применяемому обычно при подсчете контактных площадей.

При застревании во вводной арматуре проволочных и мелко-сортных станов тонких раскатов они могут быть порваны валками. Усилие, необходимое для обрыва раската Q_p , может быть

найдено из выражения, известного из сопротивления материалов

$$Q_p = F \sigma_b \approx F \sigma_s, \quad (\text{VII, 5})$$

где F — площадь поперечного сечения разрываемого раската.

В сомнительных случаях раскат должен быть проверен и на разрыв, и на торможение в валках. Для расчета следует взять меньшее из полученных значений Q_T или Q_p .

Моменты, возникающие при скручивании раската во время кантования или сваливания его в валках, могут быть найдены по формулам табл. 15, согласно методике, подробно изложенной в V главе настоящей работы.

Ниже приведены соображения и некоторые справочные материалы, необходимые для проведения поверочных прочностных расчетов основных деталей проводковой арматуры.

Проводковые брусья. Конструкция этих опорных деталей должна быть достаточно прочной и жесткой. Поскольку проводковые брусья меняются очень редко, а воспринимаемые ими нагрузки, возникающие при различных неполадках во время прокатки, могут достигать весьма значительных величин, их следует проектировать не менее, чем 8—10-кратным запасом прочности

В зависимости от конструкции и метода крепления проводкового бруса он может рассматриваться либо как балка, свободно лежащая на двух опорах, либо как балка с двумя защемленными концами, нагруженная одной или несколькими (при многониточной прокатке) сосредоточенными силами Q . Величина этих сил находится из условий торможения или разрыва полосы по уравнениям (VII, 1) — (VII, 5).

Первая схема (балка, свободно лежащая на двух опорах) применима для брусьев старой конструкции, крепящихся в пазах станин с помощью всевозможных клиньев, подставок, прокладок и т. п. Поскольку продольная ось бруса располагается, как правило, ниже или выше оси прокатки, сила Q не только изгибает, но и скручивает брус, и расчет последнего следует производить с учетом совместного действия изгиба (силой Q) и кручения (моментом $M_{кр} = Qd$). Крепление бруса должно исключать возможность его поворота относительно продольной оси, поэтому при рассмотрении деформации бруса под действием скручивающего момента $M_{кр}$, можно считать, что концы его жестко защемлены в опорах. Как известно, задача об определении моментов в защемлениях является статически неопределимой и решается исходя из предположения, что в местах защемления углы поворота сечений балки равны нулю, откуда следует, что

$$M_{R1} = M_{кр} \frac{a}{l} = Q \frac{ad}{l}, \quad (\text{VII, 6})$$

где M_{R1} — реактивный момент, возникающий в опоре l под действием крутящего момента $M_{кр}$;

¹ В работе И. Ф. Приходько и других [94] выражения (12 + 14) для определения усилия торможения Q_T записаны неверно.

$M_{кр}$ — крутящий момент, возникающий вследствие внецентренного приложения силы Q ;

d — расстояние от оси проводки (прокатки) до продольной оси проводкового бруса;

l — длина бруса между опорами I и II;

a — расстояние от опоры I до точки приложения силы Q (до оси проводкового устройства).

Условие равновесия можно записать как

$$M_{R_I} + M_{R_{II}} = M_{кр}$$

или

$$M_{R_{II}} = M_{кр} \frac{l-a}{l} = Q \frac{(l-a)d}{l}. \quad (VII, 7)$$

Здесь $M_{R_{II}}$ — реактивный момент, возникающий от $M_{кр}$ во второй опоре.

Для определения напряжений, возникающих в теле бруса от скручивания его моментом $M_{кр}$, в расчет должно вводиться большее из найденных значений M_{R_I} или $M_{R_{II}}$.

При совместном действии изгиба и кручения в зависимости от формы и размеров сечения бруса, а также от соотношения действующих нагрузок, суммарные напряжения могут оказаться наибольшими в различных точках сечения. У проводковых брусьев такими «опасными» точками могут оказаться точки, лежащие на поверхности бруса в месте пересечения осевых горизонтальных или вертикальных плоскостей с перпендикулярной им вертикальной плоскостью, проведенной в месте действия наибольшего изгибающего момента. Учитывая это обстоятельство, касательные напряжения, возникающие от скручивания бруса, следует определять для двух точек

$$\tau_{max} = \frac{M_{R_{max}}}{W_k} = \frac{M_{расч}}{W'_k}; \quad (VII, 8)$$

$$\tau' = \frac{M_{R_{max}}}{W'_k} = \frac{M_{расч}}{W_k}. \quad (VII, 8')$$

Здесь W_k и W'_k — условные моменты сопротивления кручению, определяемые в зависимости от формы сечения бруса и местоположения рассматриваемой точки.

Для иллюстрации сказанного рассмотрим скручивание бруса, имеющего сечение в форме прямоугольника со сторонами $\frac{b}{h} = 1,5$. Решая эту задачу методами теории упругости [74], можно показать, что наибольшие касательные напряжения будут действовать в средних точках длинных сторон (b) сечения, т. е.

$$\tau_{max} = \frac{M_{расч}}{W_k} = \frac{M_{расч}}{\beta b h^2} = \frac{M_{расч}}{0,231 b h^2}.$$

Касательные напряжения, действующие в средних точках коротких сторон (h), определяются как

$$\tau' = \frac{M_{расч}}{W'_k} = \frac{M_{расч}}{\beta b h^2 \frac{1}{\gamma}} = \frac{M_{расч}}{0,404 b h^2}.$$

В угловых точках сечения касательные напряжения равны нулю. (β и γ — числовые коэффициенты, зависящие от величины отношения $\frac{b}{h}$).

Изгибающий момент (от силы Q), действующий на брус в горизонтальной плоскости (для случая свободно лежащей балки), будет наибольшим в сечении, соответствующем месту приложения силы Q .

$$M_{изг max} = Q \frac{l-a}{l} a. \quad (VII, 9)$$

Максимальные и нормальные напряжения, действующие в сечении бруса вследствие его изгиба, будут

$$\sigma_{max} = \frac{M_{изг max}}{W}, \quad (VII, 10)$$

где W — осевой момент сопротивления сечения бруса изгибу.

В зависимости от принятой теории прочности выражения для определения наибольших напряжений, возникающих в теле бруса от совместного действия изгиба и кручения, будут различны. Так, согласно теории наибольших касательных напряжений они запишутся как

$$[\sigma] \geq \sqrt{\sigma_{max}^2 + 4(\tau')^2}, \quad (VII, 11)$$

а при принятии четвертой теории прочности

$$[\sigma] \geq \sqrt{\sigma_{max}^2 + 3(\tau')^2}. \quad (VII, 12)$$

На современных прокатных станах проводковые брусья крепятся к станинам болтами. Такое крепление обеспечивает высокую жесткость защемления опорных участков бруса, который в этом случае следует рассматривать как балку с защемленными концами. Балки с такими опорами относятся к категории статически неопределимых балок. Вычисление напряжений, возникающих при скручивании таких брусьев, производится, как и в предыдущем случае, по формулам (VII, 6) — (VII, 8).

Если балка длиной l с двумя защемленными концами изгибается силой Q , находящейся на расстояниях a и b от левой и правой опор, то, используя методы сопротивления материа-

лов [78], выражения для определения изгибающих моментов можно записать как:

$$\left. \begin{aligned} \text{для левой опоры} \quad M_{изгI} &= -\frac{Qab^2}{l^2}; \\ \text{для правой опоры} \quad M_{изгII} &= -\frac{Qa^2b}{l^2}; \\ \text{момент под силой} \quad M_{изгQ} &= \frac{2Qa^2b^2}{l^3}; \end{aligned} \right\} \quad (VII, 13)$$

В зависимости от места приложения силы Q наибольшее значение изгибающего момента может оказаться в одном из этих трех сечений. Это наибольшее значение изгибающего момента и следует принимать в расчет для определения нормальных напряжений по формуле (VII, 10). Условие прочности бруса и в этом случае в зависимости от принятой теории прочности будет выражено формулами (VII, 11) или (VII, 12).

При проверке прочности брусев, на которых установлена кантующая арматура для скручивания крупных раскатов (например, на непрерывно-заготовочных станах) в расчет должен вводиться также момент, передаваемый брису от скручивания раската. Следует помнить, что этот момент действует в плоскости, перпендикулярной действию силы Q , поэтому проводковый брус в этом случае должен рассматриваться как балка, изгибаемая силой Q в горизонтальной плоскости и моментом $M_{пл.кр}$ в вертикальной плоскости, а также скручиваемая относительно продольной оси моментом $M_{кр} = Qd$. При такой схеме нагружения прочность бруса должна проверяться по формулам

$$\left. \begin{aligned} [\sigma] &\geq \frac{M_{изг.гор}}{W_{гор}} + \frac{M_{изг.верт}}{W_{верт}}; \\ [\sigma] &\geq \sqrt{\left(\frac{M_{изг.верт}}{W_{верт}}\right)^2 + 3\tau_{\max}^2}; \\ [\sigma] &\geq \sqrt{\left(\frac{M_{изг.гор}}{W_{гор}}\right)^2 + 3(\tau')^2}. \end{aligned} \right\} \quad (VII, 14)$$

Здесь $M_{изг.гор}$ и $M_{изг.верт}$ — максимальные изгибающие моменты, действующие на брус в горизонтальной и вертикальной плоскостях;

$W_{гор}$, $W_{верт}$ — осевые моменты сопротивления сечения бруса изгибу в горизонтальном и вертикальном направлениях;

τ_{\max} , τ' — касательные напряжения, определяемые по формулам (VII, 8) и (VII, 8');

σ — допускаемые напряжения растяжения (сжатия) для материала бруса.

Вводная арматура. Несущие (коробки, корпуса, втулки, кассеты и т. п.) и крепежные детали вводной арматуры рассчитывают на то же усилие (Q), что и проводковый брус, на котором они установлены. Учитывая, что эти детали сменные, и их поломка не вызывает продолжительной остановки стана или значительных материальных расходов, коэффициент запаса прочности для них целесообразнее принимать меньше, чем при расчете проводковых брусев ($k = 3-8$).

Детали, составляющие рабочие элементы вводной арматуры (направляющие и вводные пропуски, линейки, воронки, направляющие ролики и т. п.), должны рассчитываться на другие нагрузки. Расчет этих деталей должен базироваться на правильном учете усилий, воспринимаемых ими при выпрямлении изогнутых раскатов. В расчетах такого рода горячий раскат может рассматриваться как идеально пластичный материал, а условие пластического изгиба записано как:

$$M_{пл.изг} = W_{пл.изг} \cdot \sigma_s \approx W_{пл.изг} \cdot \sigma_b, \quad (VII, 15)$$

где $M_{пл.изг}$ — пластический момент изгиба полосы,
 $W_{пл.изг}$ — момент сопротивления пластическому изгибу, представляющий собой удвоенный статический момент половин площади поперечного сечения полосы относительно нейтральной оси $W_{пл.изг} = 2S$.

Для сечений, наиболее часто встречающихся в практике прокатного производства, величины моментов сопротивления пластическому изгибу могут быть определены по формулам, приведенным в табл. 19.

Удерживающие ролики вводных устройств, помимо нагрузок, возникающих от выпрямления ими изогнутых раскатов, могут в случае достаточно жесткого закрепления испытывать усилия от кратковременных небольших обжатий отдельных утолщенных участков полосы. Кроме этого, ролики проводки воспринимают нагрузки от момента, возникающего при полном или частичном сваливании раската в валках.

Усилия, связанные с выпрямлением раската, и в этом случае определяются из выражения (VII, 15), причем величина плеча a для определения силы, действующей на ролики, принимается равной:

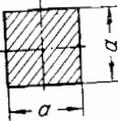
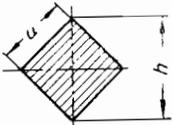
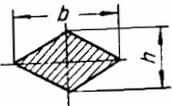
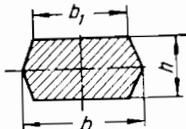
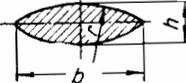
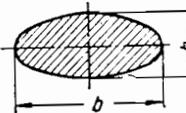
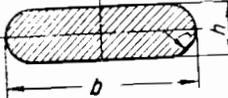
а) для проводок с одной парой роликов

$$a = l - R \sin \alpha;$$

б) для проводок с двумя и более парами роликов — величина a равна расстоянию между двумя соседними парами роликов.

Таблица 19

Формулы для определения моментов сопротивления пластическому изгибу

Формы и размеры сечения	Момент сопротивления при пластическом изгибе $W_{пл. изг}$
1. Прямоугольное 	$\frac{bh^2}{4}$
2. Квадратное пласмя 	$\frac{a^3}{4}$
3. Квадратное по диагонали 	$\frac{a^3}{3\sqrt{2}} = \frac{h^3}{12}$
4. Ромбическое 	$\frac{bh^2}{12}$
5. Прямоугольное из калибра с большими выпусками 	$(4b - b_1) \cdot \frac{h^2}{12}$
6. Овальное однорадиусное 	$\frac{b^3}{6} - 2\gamma b^2 \left(r - \frac{h}{2} \right)$
7. Овальное эллиптической формы 	$\frac{bh^2}{6}$
8. Овальное продолговатой (плоской) формы 	$(3b - h) \cdot \frac{h^2}{12}$

γ — числовой коэффициент, берущийся из таблиц в графе, площадь сегмента для данного отношения $\frac{h}{2b}$.

Усилие P от обжатия роликами отдельных участков проходящих между ними раскатов может быть найдено из приближенного выражения

$$P \approx (1 + 2) \sigma_s F, \quad (\text{VII}, 16)$$

где F — площадь контакта раската с роликом при принятом обжатии.

Величина обжатия раската в роликах зависит от конструкции проводки, размеров и формы проводимого сечения, конфигурации ручьев роликов и целого ряда других факторов. В проводках с жестким креплением роликов, применяемых для задачи средних и крупных сечений, величину обжатия принимают равной 1,5—2 мм.

Некоторые авторы [94] рекомендуют для расчета усилий от обжатия раската роликами использовать формулы, применяемые при подсчете давления металла на валки.

Нагрузки, возникающие при сваливании валками неустойчивых сечений (например, овальных), удерживаемых роликами проводки, рекомендуется определять согласно методике, изложенной в V главе. Там приведены расчетные формулы (табл. 15) для определения моментов, возникающих при скручивании, и подробные указания о том, как ими пользоваться в практических расчетах.

Расчет прочностных размеров удерживающих роликов и выбор их подшипников производится с учетом совместного действия нагрузок всех трех видов. На эти же нагрузки проверяются детали, в которых монтируются ролики (роликодержатели, линейки, щеки и т. п.). В следующем параграфе, а также в следующем поперочном расчете роликовой вводной проводки, приведенном в конце настоящей главы, вопросы, связанные с расчетом удерживающих роликов, являющихся основной деталью роликового проводкового оборудования, освещены более подробно.

Выводная арматура. Наибольшие усилия, на которые должны рассчитываться несущие и крепежные детали выводной арматуры (корпуса, коробки, крепежные болты и т. п.) определяются по уравнениям (VII, 1) — (VII, 4) из условия торможения полосы, выходящей из валков. Выводные линейки, ролики и другие, относящиеся к ним детали выводных устройств, рассчитывают на усилия, возникающие при пластическом изгибе переднего конца раската. Как и при расчете аналогичных деталей вводной арматуры, основным уравнением, используемым в этом случае, является условие пластического изгиба (VII, 15). При определении усилия величина плеча этого момента принимается равной расстоянию от плоскости выхода металла из валков до места соприкосновения изгибаемого участка раската с деталью арматуры. Так, например для определения наибольшей силы, с которой выходящий раскат может действовать на

ролик проводкового бруса или выводной линейки, найденное значение $M_{пл.изг}$ должно быть разделено на величину расстояния от плоскости выхода раската из валков до оси ролика.

Парные ролики выводных устройств, как и удерживающие ролики вводных проводок, помимо усилий от изгиба полосы, могут воспринимать нагрузки, связанные с небольшим обжатием выводимых раскатов. Определение этих нагрузок производится по выражению (VII, 16), а в расчет вводится суммарное усилие, учитывающее и изгиб, и обжатие раската.

Выводные проводки трения скольжения, применяемые как в качестве самостоятельных выводных устройств, так и в сочетании с выводными или кантующими роликами, должны рассчитываться на максимальное давление, препятствующее изгибу переднего конца полосы. Как совершенно справедливо отмечает И. С. Тришевский [11], величина давления прокатываемых полос на проводку зависит от многих факторов. Часть этих факторов в процессе работы проводок не остается постоянной и вызывает соответствующие изменения в величине давления полос на проводку. Помимо этого, последние часто подвергаются воздействию различных случайных нагрузок, в силу чего точно определить усилия, действующие на проводку, чрезвычайно затруднительно.

При установившемся процессе прокатки и правильной установке проводок, соприкосновение их с раскатом должно происходить по всей рабочей поверхности проводки. Однако при неточной установке, а также при снятии переднего конца полосы, соприкосновение ее с проводкой происходит на небольшом участке поверхности. Поскольку для прочностного расчета следует исходить из наихудших условий нагружения, можно считать, что проводка находится под действием сосредоточенной силы, величина которой равна результирующей сил элементарного давления металла в зоне контакта с проводкой P .

Полагая [11], что равнодействующая давления носка проводки на валок приложена по середине опорной поверхности носка, выводную проводку можно схематично представить в виде балки на двух опорах, нагруженную сосредоточенной силой P . Вертикальная составляющая этой силы обозначена на рис. 96 буквой N . Сила N препятствует изгибу полосы, снимаемой проводкой, поэтому можно записать

$$M_{пл.изг} = N \left(a + \frac{S}{2} \cos \alpha + x \right), \quad (VII, 17)$$

где a — расстояние от линии центров валков до носка проводки;
 S — длина дуги опорной поверхности носка проводки;
 α — угол между вертикальной плоскостью и серединой опорной поверхности носка проводки (точкой приложения опорной реакции R_1);

x — расстояние от середины этой дуги до точки приложения равнодействующей сил давления P .

Из формулы (VII, 17) видно, что сила давления металла на проводку не только занимает переменное положение по длине проводки, но изменяется также и по величине, уменьшаясь по

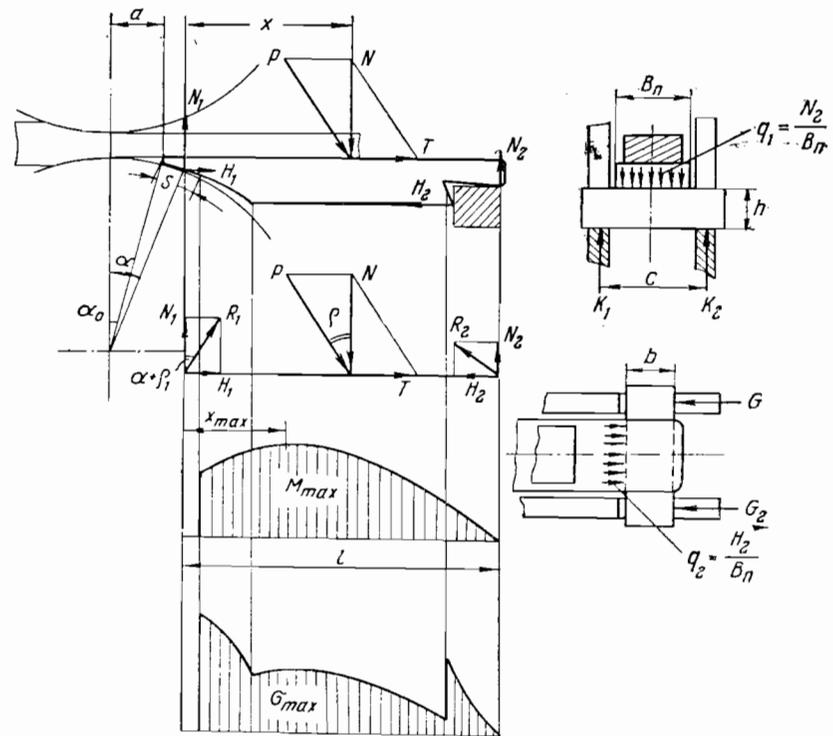


Рис. 96. Схема сил, действующих на выводную проводку

мере продвижения от носка к пяте. Имея в виду, что $M_{пл.изг}$ может быть найден из формулы (VII, 15), а выражение для определения N можно представить так:

$$N = \frac{M_{пл.изг}}{a + \frac{S}{2} \cos \alpha + x}. \quad (VII, 18)$$

Полагая $a + \frac{S}{2} \cos \alpha = k$, (VII, 18) можно записать в виде

$$N = \frac{M_{пл.изг}}{k + x}. \quad (VII, 18')$$

Реакции опор балки из условий равновесия найдутся как:

$$\left. \begin{aligned} N_1 &= N \left(1 - \frac{x}{l}\right); & N_2 &= N \frac{x}{l}; \\ H_1 &= N \left(1 - \frac{x}{l}\right) \operatorname{tg}(\rho_1 + \alpha); \\ H_2 &= N \left[\left(1 + \frac{x}{l}\right) \operatorname{tg}(\rho_1 + \alpha) + \operatorname{tg} \rho. \right] \end{aligned} \right\} \quad (\text{VII, 19})$$

Здесь $l = L - \frac{S}{2} \cos \alpha$;

L — полная длина проводки;

$\operatorname{tg} \rho = f$ — коэффициент трения раската о проводку (для горячей прокатки $f = 0,25-0,3$);

$\operatorname{tg} \rho_1 = f_1$ — коэффициент трения носка проводки о валок.

В случае трения без смазки он равен:

а) для стали по стали 0,18—0,25;

б) для стали по чугуна 0,15—0,18;

в) для чугуна по чугуна 0,15.

В общем виде величина изгибающего момента, действующего на проводку (балку) может быть описана следующим выражением:

$$M_{\text{изг}} = N_1 x = N \left(1 - \frac{x}{l}\right) x = \frac{M_{\text{пл.изг}}}{k+x} \cdot \left(1 - \frac{x}{l}\right) x. \quad (\text{VII, 20})$$

По мере выхода переднего конца полосы из валков значение x может меняться от $x = 0$ до $x = l$. Изменение x , как это следует из (VII,20), будет изменять значение $M_{\text{изг}}$, причем для каждого поперечного сечения проводки изгибающий момент будет наибольшим, когда передний конец полосы находится над этим сечением. Эпюра таких (максимальных) изгибающих моментов имеет вид, показанный на рис. 96. Координату максимума этой эпюры можно найти, если положить

$$\frac{dM_{\text{изг}}}{dx} = \frac{d}{dx} \cdot \frac{M_{\text{пл.изг}}}{k+x} \left(1 - \frac{x}{l}\right) x = 0. \quad (\text{VII, 21})$$

Дифференцируя, получим

$$x^2 + 2kx - kl = 0,$$

откуда

$$\left. \begin{aligned} x_{1,2} &= -k \pm \sqrt{k(k+l)}; \\ x_{\text{max}} &= -k + \sqrt{k(k+l)}, \end{aligned} \right\} \quad (\text{VII, 22})$$

т. е. максимум эпюры M_{max} находится на расстоянии $x = x_{\text{max}}$ от середины опорной поверхности носка проводки.

Поскольку поперечные сечения проводки меняются по ее длине, сечение, в котором напряжения от изгиба имеют наибольшие

значения, не обязательно будет находиться под максимумом эпюры изгибающих моментов. Для нахождения такого (опасного) сечения можно поступить следующим образом. Имея в виду, что напряжения от изгиба определяются как

$$\sigma_{\text{изг}} = \frac{M_{\text{изг}}}{W} \quad (\text{VII, 23})$$

и используя (VII,20), запишем уравнение (VII,23) для нашего случая в виде

$$\sigma_{\text{изг}}(x) = \frac{M_{\text{изг}}(x)}{W(x)} = \frac{M_{\text{пл.изг}} \left(1 - \frac{x}{l}\right) x}{W(x)} \quad (\text{VII, 24})$$

и найдем его максимум. Мысленно разделим проводку по длине на три части длиной l_1 , l_2 и l_3 . Допустим, что ширина проводки $B_{\text{п}}$ — постоянна, а толщина изменяется от h_1 (при $x = 0$) до h_2 (при $x = l_1$) по прямой*. На участке $x = l_1 \div (l_1 + l_2)$ толщина проводки остается постоянной — h_2 . В сечении $x = (l_1 + l_2)$ толщина скачкообразно изменяется от h_2 до h_3 и дальше до конца проводки остается постоянной, равной h_3 .

Для первого участка ($h_1 \div h_2$) выражение для осевого момента сопротивления изгибу можно представить как

$$W_1(x) = \frac{B_{\text{п}}^2}{6l_1} [l_1 h_1 + x(h_2 - h_1)]. \quad (\text{VII, 25})$$

Тогда выражение (VII, 24) для этого участка будет иметь вид

$$\sigma_{\text{изг}} = \frac{6M_{\text{пл.изг}} l_1}{B_{\text{п}}^2 l} \cdot \frac{lx - x^2}{(l_1 h_1 + h_2 x - h_1 x)(k+x)}. \quad (\text{VII, 26})$$

Продифференцировав (VII, 26) по x и приравняв производную нулю, получим

$$\frac{d\sigma_{\text{изг}}}{dx} = x^2 \{h_1(k+l-l_1) - h_2(k+l)\} - 2kh_1 l_1 x + kh_1 l l_1 = 0,$$

откуда

$$x_{1\text{max}} = \frac{k \cdot h_1 l_1 \pm \sqrt{kh_1 l_1 \{(k+l)[h_1 l_1 + (h_2 - h_1) l]\}}}{h_1(k+l-l_1) - h_2(k+l)}. \quad (\text{VII, 27})$$

Таким образом, наибольшие напряжения, возникающие в проводке от изгиба ее силой N , будут находиться на расстоянии $x_{1\text{max}}$ от середины опорной поверхности носка. Как показывает проведенный анализ, при соотношениях размеров, принимаемых обычно на практике, это опасное сечение находится вблизи конца опорной поверхности носка проводки (рис. 96).

* Замена дуг, очерчивающих нижнее основание носка проводки хордой, используется довольно часто и не вносит заметных погрешностей в дальнейшие выкладки.

Для нахождения опасного сечения в средней части проводки

$$[x = l_1 + (l_1 + l_2)]$$

запишем уравнение (VII, 26) в виде

$$\sigma_{II_{изг}} = \frac{6M_{пл.изг}}{B_{II}^2 h_2 l} \cdot \frac{lx - x^2}{k + x}. \quad (VII, 26')$$

Из (VII, 26') прежними методами находим

$$x^2 + 2kx - kl = 0$$

и

$$x_{II_{max}} = -k + \sqrt{k(k+l)},$$

откуда видно, что, как и следовало ожидать, второе опасное сечение расположено под максимумом эпюры изгибающих моментов (VII, 22).

Совершенно очевидно, что третьим сечением, которое должно быть проверено в прочностном расчете проводки, является сечение у основания пяты $[x = (l_1 + l_2)]$. Напряжения в этом сечении проводки могут быть определены из уравнения

$$\sigma_{III_{изг}} = \frac{6M_{пл.изг}}{B_{II}^2 h_3} \frac{l(l_1 - l_2) - (l_1 + l_2)^2}{l(k + l_1 + l_2)}. \quad (VII, 28)$$

полученного делением (VII, 20), в котором $x = l_1 + l_2$, на соответствующее выражение для W . Резкое уменьшение толщины проводки в этом сечении приводит к скачкообразному возрастанию напряжений (рис. 96), которые в некоторых случаях могут превысить допускаемые.

Напряжения, вызываемые сжатием проводки, продольной составляющей силы P находятся по уравнению

$$\sigma_{сж} = \frac{H_2}{F} = \frac{N}{F} \left[\left(1 - \frac{x}{l}\right) \operatorname{tg}(\alpha + \rho_1) + \operatorname{tg} \rho \right]. \quad (VII, 29)$$

Суммарные напряжения, возникающие в проводке от ее изгиба и сжатия, будут наибольшими у рабочей поверхности проводки, где

$$[\sigma_{max}] = \sigma_{изг} + \sigma_{сж}. \quad (VII, 30)$$

Опорные бруски (см. рис. 96), на которые укладываются хвостовики проводок, испытывают деформацию косоуго изгиба от двух взаимно перпендикулярных сил

$$q_1 = \frac{N_2}{B_{II}} \quad \text{и} \quad q_2 = \frac{H_2}{B_{II}}.$$

Максимальные изгибающие моменты, действующие на опорный брусок в вертикальной и горизонтальной плоскостях, соответственно будут

$$\left. \begin{aligned} M_{1_{изг}} &= \frac{N_2}{4} \left(c - \frac{B_{II}}{2} \right); \\ M_{2_{изг}} &= \frac{H_2}{4} \left(c - \frac{B_{II}}{2} \right); \end{aligned} \right\} \quad (VII, 31)$$

а условие прочности бруска запишется как

$$[\sigma_{max}] = \frac{M_{1_{изг}}}{W_1} + \frac{M_{2_{изг}}}{W_2} = \frac{6M_{1_{изг}}}{bh^2} + \frac{6M_{2_{изг}}}{hb^2} \leq [\sigma_{доп}]. \quad (VII, 32)$$

Кантующая арматура. Кантование раската в кантующих устройствах (валках, роликах, проводках и т. п.) осуществляется за счет пластического скручивания. Усилия, действующие на арматуру при такой деформации, зависят прежде всего от величины крутящего момента, необходимого для скручивания полосы, а также от конструкции кантующего устройства. Формулы для практического определения величин крутящих моментов получены ранее и приведены выше в табл. 15.

Условия скручивания раската в геликоидальных проводках, являющихся обязательной деталью большинства кантующих устройств, заметно отличаются от скручивания его в кантующих роликах и валках. Под действием горизонтального напора Q , сообщаемого валками выходящему раскату при соприкосновении его с рабочими поверхностями проводок, он давит на них силой, равномерно распределенной по всей поверхности кантующих поясков. Кантующие пояски по мере удаления от носка проводок меняют свое положение в пространстве, перемещаясь по косоугольной поверхности (винтовой или геликоидальной). Удельные давления, действующие на кантующие пояски, направлены под разными углами к продольной оси проводки. При такой схеме силового взаимодействия точное решение задачи о скручивании раската в геликоидальных проводках оказывается очень сложным, и применять его в простых инженерных расчетах нецелесообразно. Для упрощения расчетов мысленно можно представить, что удельные давления, распределенные по всем кантующим поверхностям, сосредоточены в двух точках A , и равнодействующая этих давлений в каждой из этих точек равна P (рис. 97). При этом

$$Q = 2P \sin(\rho + \gamma).$$

Такое допущение означает, что раскат во время кантовки в проводках скользит по линиям AA , проходящим по середине кантующих поясков на расстоянии r от центра сечения, т. е.

$$r = \hat{OA} = \frac{1}{2} \sqrt{h^2 + \frac{1}{2}(a+b)^2}, \quad (VII, 33)$$

где h и b — высота и ширина раската;

a — расстояние между кантующими поясками.

Угол подъема винтовой линии (AA) γ , зависящий от угла кантования проводки $\varphi_{пр}$ и длины ее рабочей части $L_{пр}$, может быть определен как

$$\gamma = \arctg \frac{L_{пр}}{r\varphi_{пр}} = \arctg \frac{0}{r} = \arctg \frac{20}{\sqrt{h^2 + \frac{1}{2}(a+b)^2}} \quad (\text{VII, 34})$$

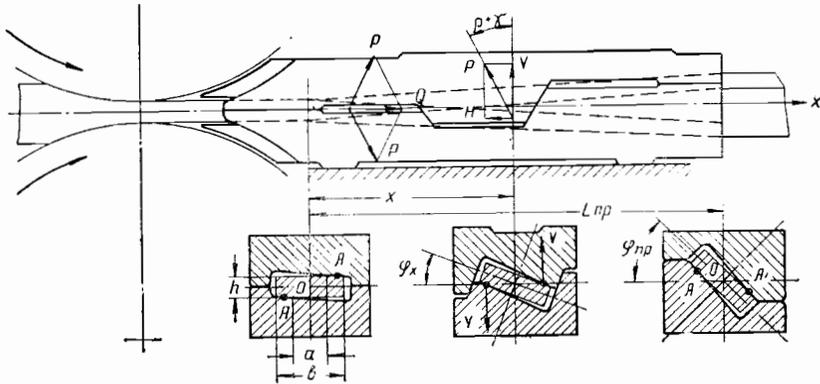


Рис. 97. Схема сил, действующих на геликоидальную кантующую проводку

Поскольку сила P приложена в точке (A), принадлежащей винтовой линии с углом подъема γ , она вследствие трения раската о проводку должна отклониться от вертикального положения на угол $(\rho + \gamma)$. Определив таким образом направление действия P , можно разложить ее на вертикальную V и горизонтальную H составляющие. Имея в виду, что нам известна величина момента пластического кручения раската, вертикальную составляющую давления нетрудно найти из выражения

$$V = \frac{M_{пл.кр}}{2r} = \frac{M_{пл.кр}}{\sqrt{h^2 + \frac{1}{2}(a+b)^2}}, \quad (\text{VII, 35})$$

а горизонтальную составляющую определить из параллелограмма сил

$$H = V \operatorname{tg}(\rho + \gamma), \quad (\text{VII, 36})$$

где ρ — угол трения. $\operatorname{tg} \rho = f$. При горячей прокатке можно считать, что $f \approx 0,25 \div 0,3$.

Раскат, закручиваемый винтовой кантующей проводкой, стремится скрутить ее в обратном направлении и одновременно сжать вдоль оси x . Поэтому при проверочных расчетах на прочность кантующую проводку схематично можно рассматривать

как балку, подвергающуюся совместному действию кручения (моментом $M_{пл.кр}$, приложенным по концам проводки) и сжатия (силой $Q = 2H$). Заметим, что силы H приложены к верхней и нижней проводкам и стремятся изогнуть (сместить) их в горизонтальной плоскости, но величина момента этих сил невелика и в расчет его вводить не следует.

Как известно, в условиях совместного действия кручения и сжатия прочность детали оценивается с помощью неравенства

$$[\sigma_{доп}] \geq \frac{M_{кр}}{W_{кр}} + \frac{Q}{F}, \quad (\text{VII, 37})$$

которое в нашем случае на основании (VII, 35), (VII, 36) может быть переписано в следующем виде

$$[\sigma_{доп}] \geq \frac{M_{пл.кр}}{W_{кр}} + \frac{M_{пл.кр}}{rW} \operatorname{tg}(\rho + \gamma), \quad (\text{VII, 37}')$$

где F — площадь поперечного сечения проводки;

$W_{кр}$ — момент сопротивления кручению поперечного сечения проводки.

Для вычисления $W_{кр}$ поперечное сечение проводки упрощенно можно рассматривать как открытый профиль, составленный из ряда простейших прямоугольных элементов. В этом случае крутящий момент будет распределяться между этими элементами сечения пропорционально их жесткостям.

$$M_{кр.л} = M_{кр} \frac{I_{кр.л.н}}{I_{кр}} \quad (\text{VII, 38})$$

Здесь

$$I_{кр} = I_{кр1} + I_{кр2} + \dots + I_{крл}$$

Наибольшие касательные напряжения будут у элемента, для которого $\frac{I_{кр.л.н}}{W_{кр.л}}$ окажется максимальным. Тогда

$$\tau_{\max} = \frac{M_{кр}}{W_{кр}}, \quad (\text{VII, 39})$$

где $I_{кр}$ — условный момент инерции при кручении;

$W_{кр}$ — условный момент сопротивления при кручении

$$W_{кр} = \frac{I_{кр}}{\left(\frac{I_{кр.л.н}}{W_{кр.л}}\right)_{\max}}$$

Иными словами, наибольшее (из всего контура) касательное напряжение обычно возникает в середине внешней грани наиболее короткого и толстого прямоугольного элемента. Поскольку сечение проводки меняет свою конфигурацию по длине $W_{кр}$ следует определить для нескольких сечений (например, трех, изо-

браженных на рис. 97 внизу). В расчет следует вводить меньшее из полученных значений.

Схема действия сил на кантующие валки (ролики) показана на рис. 98. Вследствие трения, возникающего при движении скручиваемой полосы вдоль оси прокатки, сила полного давления металла на кантующий калибр P отклоняется от вертикального положения в обратном направлении на угол ρ_k . Составляю-

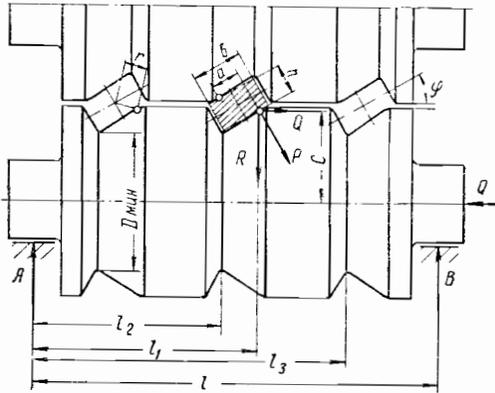


Рис. 98. Схема действия сил на кантующие валки (ролики)

щая этой силы, действующая в вертикальной плоскости и создающая момент, скручивающий полосу, определится как

$$P_v = P \cos \rho_k, \quad (\text{VII, 40})$$

а продольная составляющая, вращающая кантующие валки

$$T = P \sin \rho_k. \quad (\text{VII, 41})$$

Обозначив, как и раньше (VII, 34), расстояние от центра скручиваемого сечения до точки приложения равнодействующей P через r , можно записать

$$M_{\text{пл.кр}} = 2P_v \cdot r = 2P \cdot r \cdot \cos \rho_k,$$

откуда

$$P = \frac{M_{\text{пл.кр}}}{2r \cos \rho_k}. \quad (\text{VII, 42})$$

Величины радиального R и осевого Q усилий могут быть найдены из треугольника сил,

$$R = P_v \cos \varphi = \frac{M_{\text{пл.кр}}}{2r} \cdot \cos \varphi; \quad (\text{VII, 43})$$

$$Q = P_v \cdot \sin \varphi = \frac{M_{\text{пл.кр}}}{2r} \cdot \sin \varphi, \quad (\text{VII, 44})$$

а выражение (VII, 41) переписано как

$$T = \frac{M_{\text{пл.кр}}}{2r} \operatorname{tg} \rho_k. \quad (\text{VII, 45})$$

В этих формулах:

φ — угол наклона кантующего калибра;

ρ_k — угол трения;

$\operatorname{tg} \rho_k = f_k$ — коэффициент трения в подшипниках кантующих валков.

В расчетах на прочность кантующий валок может быть схематично представлен как балка на двух опорах, нагруженная вертикальной силой R , горизонтальной силой Q и изгибающим моментом $Q \cdot c$ (c — расстояние от точки приложения силы до оси кантующего валка). Момент от силы T вследствие ее малости в расчет можно не принимать.

Обозначив расстояние между опорами кантующего валка через l , определим максимальные изгибающие моменты в сечениях, отстоящих на расстояниях l_1 , l_2 и l_3 от левой опоры.

Максимальные значения изгибающего момента в сечении l_1 будут:

$$\text{слева} \quad M'_1 = \frac{l_1}{l} [R(l - l_1) - Qc]; \quad (\text{VII, 46})$$

$$\text{справа} \quad M_1 = \left(1 - \frac{l_1}{l}\right) (Rl_1 + Qc). \quad (\text{VII, 47})$$

В сечениях l_2 и l_3 максимальные изгибающие моменты соответственно равны:

$$M_2 = M'_1 \cdot \frac{l_2}{l_1}; \quad (\text{VII, 48})$$

$$M_3 = M_1 \frac{l - l_3}{l - l_1}, \quad (\text{VII, 48})$$

Напряжения, возникающие в материале кантующих валков для каждого из сечений, определяются из известного выражения

$$[\sigma] \geq \pm \frac{Mi}{W_{yi}} \pm \frac{Q}{F_i}, \quad (\text{VII, 49})$$

где F_i — площадь поперечного сечения валка на расстоянии l_i от левой опоры;

W_{yi} — момент сопротивления изгибу сечения валка. Для круглого сечения $W_y = \frac{\pi R^3}{4}$ (R — радиус валка);

$[\sigma]$ — допускаемые напряжения. Для кантующих валков их следует принимать такими же, как и для прокатных валков [8, стр. 185—186].

При конструировании роликовой кантующей арматуры детали, воспринимающие вертикальные нагрузки (например, нажимные болты, стойки сборочных рам и т. п.), должны рассчитываться по величинам вертикальных реакций A и B в подшипниках. Расчет деталей, воспринимающих боковые нагрузки (например, боковых регулировочных болтов), должен проводиться по величине горизонтальной составляющей полного давления Q .

26. Профилировка роликов

Конфигурация образующей поверхности роликов, т. е. их профилировка, зависит в основном от формы проводимого сечения, а также от тех функций, которые ролик должен выполнять в проводковом оборудовании определенного типа.

Профилировка роликов вводных устройств должна обеспечить свободный ввод раската в калибр и в случае необходимости надежное удерживание его от сваливания. Большинство из распространенных форм прокатываемых сечений не вызывает затруднений в этом отношении. Так, устойчивые прямоугольные сечения, задаваемые в ящичные калибры или на гладкую бочку, полосы в ребровых проходах, шестигранники, задаваемые в квадратные калибры, и т. п. с успехом могут быть введены в валки и удержаны от сваливания в процессе прокатки проводкой, оснащенной гладкими цилиндрическими роликами. Путем изменения расстояния между роликами в такой проводке можно удерживать очень широкий диапазон размеров одного профиля и даже использовать ее для задачи различных профилей.

Подобную универсальность проводок с гладкими роликами следует всегда иметь в виду при выборе типа вводного устройства. С этой точки зрения нельзя признать удачным применение для задачи шестигранных сечений профилированных роликов (рис. 99, e) и, хотя удерживание раската в роликах такой формы производится более надежно, использование их без крайней необходимости не может быть рекомендовано.

Гладкие ролики с успехом могут применяться не только для удерживания раскатов простой формы, но и некоторых сечений сложной конфигурации, имеющих плоские грани, например чистовых швеллеров и балок.

Сечения неустойчивой формы, не обладающие вышеуказанными особенностями, требуют определенной профилировки удерживающих роликов. Наиболее распространенным примером, представляющим к тому же наибольший практический интерес, может служить обычный однорядный овал, задаваемый в круглый калибр. Для обеспечения нормальной прокатки этого весьма неустойчивого сечения необходимо сохранять строго вертикальное положение большой оси овала в течение всего процесса прокатки, так как круглый калибр не способен противостоять его сваливанию.

В настоящее время известно довольно много различных вариантов профилировки роликов для овалов. На рис. 99 показаны некоторые наиболее распространенные формы ручьев удерживающих роликов. На этом рисунке точки, в которых линейные скорости раската и ролика совпадают, отмечены буквой k , а диаметр ролика, соответствующий такой точке, обозначен буквой D_k .

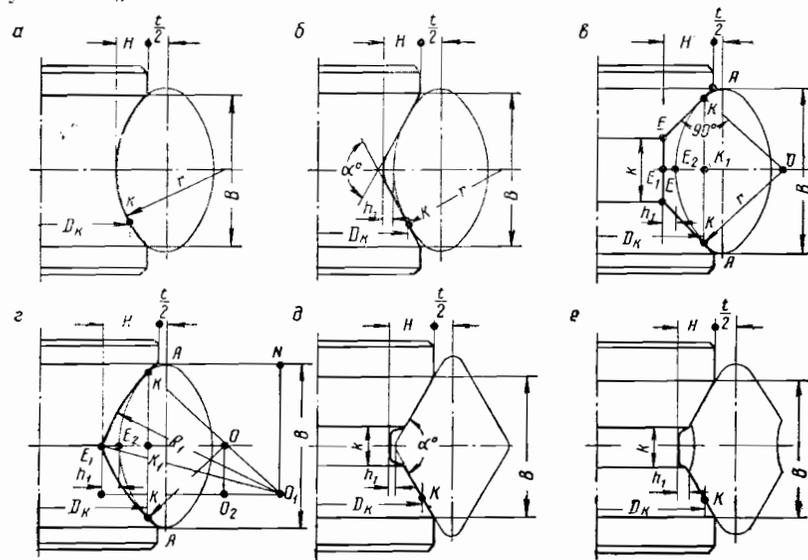


Рис. 99. Наиболее распространенные формы ручьев удерживающих роликов

Как видно из рис. 99, a , профиль ролика с овальным ручьем очерчивается тем же радиусом r , что и боковая поверхность овальной полосы. Глубина вреза ручья H подбирается так, чтобы при прохождении через проводку самого тонкого овала данного радиуса зазор между крайними буртами роликов был немного больше максимально возможной толщины заусенца, т. е.

$$H = \frac{h-t}{2}, \quad (\text{VII}, 50)$$

где h — толщина задаваемого овала (наименьшего из всей прокатываемой серии);

t — зазор между буртами роликов.

При выборе величины зазора t С. Г. Некрасов рекомендует [14] пользоваться следующими соотношениями:

Диаметр прокатываемого круглого профиля, мм	Зазор между буртами роликов проводки
8—12	(1,2—1,5) s
13—50	(1,5—2,0) s

Здесь s — зазор между прокатными валками с овальным калибром.

Контур V-образного ручья (рис. 99, б) образуется двумя прямыми линиями, пересекающимися под углом α и сопряженными некоторым небольшим радиусом r' (на рис. 99, б он не показан). Встречающиеся на практике значения углов α колеблются в нешироких пределах — от 105 до 130°.

На рис. 99, в изображена профилировка ручья, в котором касание раската с роликом осуществляется только в точках k . Ролики с ручьями такой конфигурации опробовались [14] при прокатке средних кругов на Златоустовском металлургическом заводе. Построение калибра этих роликов производится по следующим правилам. Боковые стороны ручья AE должны быть перпендикулярны радиусам овала $OK = r$. Наибольший просвет E_1E_2 между раскатом и дном калибра, сделанный для компенсации износа ролика, принимается равным $\frac{t}{2}$, а глубина вреза

ручья $H = \frac{h}{2}$. Расстояние между точками соприкосновения ролика с полосой выбирается в зависимости от ширины наименьшей овальной полосы

$$kk = b_1 = b - \Delta, \quad (\text{VII}, 51)$$

где b — ширина овала.

Величину Δ рекомендуется [14] подбирать, исходя из выпуклости проводимого овала.

Диаметр прокатываемого круглого профиля, мм	Δ , мм
8—25	1—2
26—50	2—4

Для определения ширины дна ручья k и ширины основания предложены следующие формулы

$$k = EE = b_1 - \frac{4c}{b_1} (e - c); \quad (\text{VII}, 52)$$

$$B = b + \frac{4c}{b} (H + c + e), \quad (\text{VII}, 52')$$

где

$$e = \hat{O}E_1 = r + \frac{t}{2};$$

$$c = \hat{O}K_1 = \sqrt{r^2 - \left(\frac{b_1}{r}\right)^2}.$$

По данным С. Г. Некрасова [14], ролики со стрельчатыми ручьями (рис. 99, г) сохраняют хорошую удерживающую способность в течение всего срока службы. На них можно работать

до полного использования зазора — соприкосновения роликов. Стойкость их примерно в 1,5 раза больше, чем у роликов с овальными ручьями (рис. 99, а), и на 12—15% больше, чем у роликов с трапецидальными ручьями (рис. 99, в). Построение контура такого ручья выполняется дугами окружности с радиусом R_1 так, что овальный раскат соприкасается с роликом в точках k . Радиусы роликового калибра \hat{O}_1K и овальной полосы $\hat{O}K$ должны лежать на одной прямой, перпендикулярной к поверхностям полосы и калибра в точке K . Для определения основных размеров ручьев такой формы пригодны следующие эмпирические формулы

$$\left. \begin{aligned} \varepsilon_1 \varepsilon_2 &= \frac{t}{2}; \\ H &= \frac{h}{2}; \\ kk &= b_1 = b - \Delta. \end{aligned} \right\} \quad (\text{VII}, 53)$$

$$\left. \begin{aligned} R_1 &= \hat{O}_1\varepsilon_1 = \frac{r}{2} \cdot \frac{e^2 + r^2 - 2ec}{r^2 - ec}; \\ B &= 2 \sqrt{R_1^2 - \left(\frac{R_1 c}{r} + e - c - H\right)^2} - b_1 \left(\frac{R_1}{r} - 1\right), \end{aligned} \right\} \quad (\text{VII}, 54)$$

где e , c и r — имеют те же значения, что и для остальных фигур рис. 99.

Приведенные на рис. 99, а — 99, г и другие известные формы ручьев удерживающих роликов для овалов могут рассматриваться как различные модификации двух основных типов — роликов с так называемыми V-образными ручьями (рис. 99, б) и роликов с овальными калибрами (рис. 99, а), у которых конфигурация ручья совпадает с формой боковой поверхности удерживаемого овала. Мнения специалистов относительно того, какой из этих профилировок следует отдать предпочтение, разделились.

В соответствии с известными практическими данными, представляется, что овальные сечения могут достаточно надежно удерживаться в роликах с ручьями обоих типов. Однако в силу ряда особенностей, в различных случаях прокатки применение ручьев одной из этих форм может оказаться более целесообразным.

Устойчивость овального сечения в ручьях V-образной формы определяется величиной угла устойчивости β (рис. 94). По принятой терминологии [20] так называется угол, образуемый линиями, проведенными из центра овала в точки касания его с роликом. Практикой установлено, что для предотвращения проворачивания раската в роликах угол устойчивости должен быть больше 90°. При этом, с увеличением угла β уменьшается тенден-

ция овала к сваливанию и возрастает срок службы роликов до замены или переточки.

Последнее можно объяснить следующим образом. Воспринимаемый роликами крутящий момент $M_{кр}$, вызванный сваливанием удерживаемой полосы в калибре, при прокатке данного сечения является величиной, примерно, постоянной. Возникающие со стороны роликов реакции Q действуют по нормали к их поверхности в точках соприкосновения с раскатом M . В этом случае, как хорошо видно из рис. 94 и легко доказуемо математически, плечо e сил Q будет зависеть от угла устойчивости β . С увеличением последнего величина e растет (VI, 8). Отсюда вытекает, что при большем β величина сил Q будет меньшей, т. е. при $\beta_1 > \beta_2$

$$Q_1 = \frac{M_{кр}}{2e_1} < Q_2 = \frac{M_{кр}}{2e_2},$$

так как $e_1 > e_2$, а $M_{кр} = \text{const}$ и, следовательно, будет меньшей вероятность смятия раската в роликах и их износ в процессе работы (при прочих равных условиях). Величина радиального распорного усилия R , действующего на ролик, может быть найдена по формуле

$$R = \frac{M_{кр} \sin \frac{\alpha}{2}}{(2r - h) \cos \left(\frac{\alpha}{2} - \varphi \right)}, \quad (\text{VII, 55})$$

а величина зазора между раскатом и роликом — из выражения (VI, 7).

Зависимость угла устойчивости β от угла развала ручьев роликов α , получаемая путем несложных выкладок, выражается уравнением

$$\beta = 2 \arctg \left[\frac{r \cos \frac{\alpha}{2}}{\frac{h}{2} - r \left(1 - \sin \frac{\alpha}{2} \right)} \right]. \quad (\text{VII, 56})$$

где h и r — соответственно толщина и радиус овала.

Обратная зависимость описывается уравнением

$$\alpha = 2 \arccos \left[\left(\frac{h}{2r} - 1 \right) \sin \frac{\beta}{2} \right] - \beta. \quad (\text{VII, 57})$$

При пользовании этой формулой следует иметь в виду, что $\arccos \left[\left(\frac{h}{2r} - 1 \right) \sin \frac{\beta}{2} \right]$ лежит во второй четверти и определяется как разность между 180° и найденным табличным значением.

Из (VII, 57) видно, что при сохранении постоянства угла устойчивости менее выпуклые овалы требуют применения роликов с большим развалом ручьев, и наоборот. При удерживании овалов постоянной формы получение большего угла устойчивости достигается уменьшением угла при вершине ручьев роликов.

С уменьшением угла α глубина вреза ручья увеличивается, ослабляя среднее сечение ролика. Компенсировать ослабление тела роликов можно путем увеличения радиуса сопряжения r' у вершины ручья. Вообще же величина радиуса r' зависит от диапазона размеров овалов, удерживаемых в данных роликах, и подбирается так, чтобы точки касания наименьшего овала с роликом находились на прямых участках ручья.

При выборе параметров роликов величина угла α устанавливается в зависимости от диапазона и соотношения размеров сечений, удерживаемых в этих роликах. Размеры овалов, задаваемых в данную пару роликов, ограничиваются: для наименьшего — допустимым сближением роликов, для наибольшего — условием, чтобы участки контакта овала и ролика укладывались в границы ручья. Угол устойчивости при этом не должен выходить из допустимых пределов ($\beta < 90^\circ$). Так как все остальные сечения, прокатываемые на данном стане, имеют примерно одинаковое соотношение размеров, последнее условие выполняется сравнительно легко.

Рассматривая поворот овального раската в роликах с овальными ручьями (рис. 100) как эксцентричное вращение круглого кулака, можно найти зависимость величины зазора между раскатом и роликом Δ от угла наклона φ задаваемого сечения. Эта зависимость описывается уравнением

$$\Delta = \left(\sqrt{k^2 \sin^2 \theta + r^2 - k^2} - k \sin \theta \right) \sin (\varphi + \theta) - \left(\sqrt{k^2 \sin^2 \gamma + r^2 - k^2} - k \sin \gamma \right) \sin \gamma. \quad (\text{VII, 58})$$

В этом уравнении

$$k = r - \frac{h}{2};$$

$$\gamma = \arctg \frac{\sqrt{4r^2 - B^2} - 2k}{B},$$

а угол поворота сечения φ связан с θ следующим равенством

$$\cos (\varphi + \theta) = \frac{B}{2 \left(\sqrt{k^2 \sin^2 \theta + r^2 - k^2} - k \sin \theta \right)}. \quad (\text{VII, 59})$$

Поскольку решить уравнение (VII, 59) в явной форме относительно θ не удалось, для определения φ приходится пользоваться табличным методом, т. е., задаваясь последовательными зна-

чениями θ , определять соответствующие им величины φ . При этом следует иметь в виду, что θ может меняться от $\theta = 0$ при

$$\varphi = \varphi_{\max} = \arccos \frac{B}{b}, \quad (b - \text{ширина овала});$$

до

$$\theta = \theta_{\max} = \gamma = \arctg \frac{\sqrt{4r^2 - B^2} - 2k}{B}$$

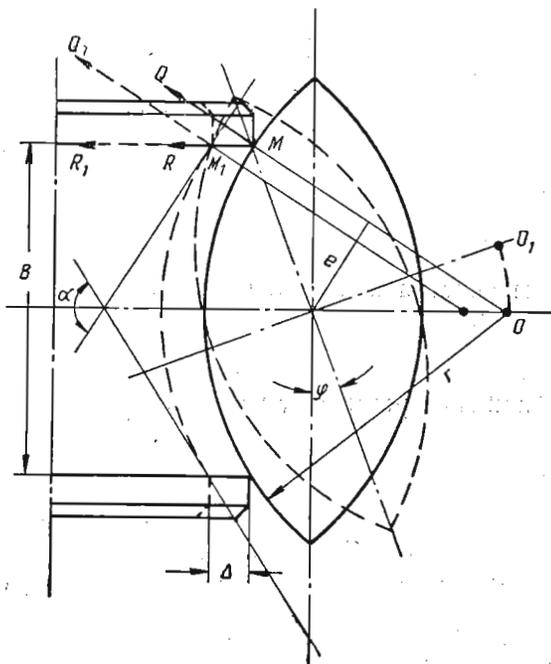


Рис. 100. Схема сил, действующих на ролики с овальными ручьями при сваливании раската

при $\varphi = 0$. В результате необходимых расчетов можно построить график $\varphi - \theta$, из которого определяется величина φ , соответствующая заданному углу поворота θ при вычислении Δ .

Такой график, построенный при выполнении примерного расчета роликовой проводки, изображен на рис. 107.

Стойкость роликов с овальными ручьями обычно оказывается более низкой по сравнению с роликами, имеющими ручки иной конфигурации. Это объясняется тем, что даже при незначительной выработке роликов, происходящей главным образом у краев овала, удерживаемое сечение получает возможность некоторого проворачивания, которое приводит к окончательно сваливанию полосы. Компенсировать же вредные последствия износа путем более тесной установки роликов не удается

вследствие меньшей величины выработки по середине ручья. Однако поскольку выбраковка роликов проводок чистовых кле-тей производится при первом появлении на поверхности роликов раковин, это обстоятельство не играет существенной роли.

Удерживание ромбов, квадратов и шестигранников, задаваемых на ребро, производится также в профилированных роликах. Профилировка в этом случае производится с таким расчетом, чтобы наклонные грани сечения поддерживались у краев, расположенных по вертикальной диагонали. Обычно ручки роликов имеют вид, аналогичный изображенному на рис. 99, д и 99, е. При построении таких ручьев обычно выдерживаются следующие соотношения размеров

$$k = (2,2 \div 2,5) r';$$

$$h = (1,2 \div 1,3) a;$$

$$H = 0,5 (d - t),$$

где r' — радиус скругления вершины ромба;

a — наибольшая допустимая величина радиального износа ролика;

H — глубина вреза калибра в тело ролика;

d — длина меньшей диагонали наибольшего ромба, удерживаемого в данной паре роликов.

Профилированные ролики применяются и для удерживания фасонных профилей. На рис. 101 показан специальный профиль, применяемый в артиллерии, удерживание которого в роликах соответствующей конфигурации устранило ряд трудностей, возникавших при его прокатке. На рис. 32 представлен пример использования фасонных роликов для задачи угловых профилей.

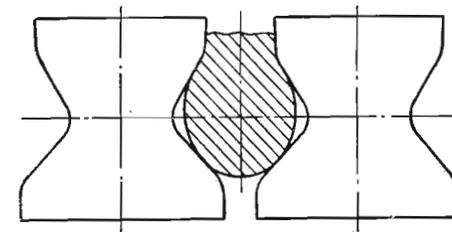


Рис. 101. Профилировка роликов для удерживания специальных профилей

По аналогии с уравнениями (VI, 4) — (VI, 8) можно получить формулы, необходимые для расчета прочных размеров роликовой проводки с овальными ручьями

$$e = \frac{B}{4r} (2r + 2\Delta - h); \quad (\text{VII}, 60)$$

$$R = \frac{M_{\text{кр}} \sqrt{4r^2 - B^2}}{B (2r - 2\Delta - h)}; \quad (\text{VII}, 61)$$

$$M_{\text{кр}} = 2Qe. \quad (\text{VII}, 62)$$

В этих формулах $M_{\text{кр}}$ — скручивающий момент, действующий на полосу;

Q — усилие, действующее на ролики со стороны раската;
 R — радиальное распорное усилие, действующее на ролики при сваливании полосы;
 e — плечо приложения силы Q .

Резюмируя изложенное выше, а также учитывая практический опыт эксплуатации роликов с ручьями различной конфигурации, можно отметить следующее. Ролики с V-образными ручьями целесообразно применять для удерживания более тонких черновых овалов. Ручьи такой формы обладают тем преимуществом, что их можно использовать для удержания большого количества овалов смежных размеров. Практически в проводке с такими роликами оказывается возможным удерживать весь диапазон овалов, прокатываемых в данной клети на стане. V-образные ручьи показывают более высокие эксплуатационные качества при прокатке крупных кругов, однако при восстановлении таких ручьев с помощью переточки роликов съём металла получается на много большим, чем при переточке роликов с овальными ручьями.

При прокатке мелких чистовых овалов выгоднее использовать ролики с овальными ручьями. Для надежного удерживания таких овалов ролики проводки должны обеспечить некоторое небольшое контактное давление на поверхность раската. Равномерное распределение этого давления по дуге контакта в роликах с овальными ручьями улучшает качество профиля, что особенно следует иметь в виду при прокатке качественных сталей.

В кантующих устройствах применяется три основных типа роликов: гладкие цилиндрические ролики, конические ролики и ролики (валки) с косо врезанными кантующими калибрами. Кантовка раската с помощью гладких роликов осуществляется путем установки их осей под определенным углом — углом кантовки (углом скручивания). Угол кантовки проводки $\varphi_{пр}$ зависит от расстояния между клетями, конечного угла кантовки (угла скручивания раската у входа в калибр следующей клети) и местоположения кантующих роликов. Этот угол может быть определен простым выражением, получаемым путем элементарных рассуждений:

$$\varphi_{пр} = \varphi_k \frac{L_{пр}}{L_k},$$

где φ_k — конечный угол кантования (обычно 45, 90 или 180°);

L_k — расстояние между клетями;

$L_{пр}$ — расстояние между проводкой и валками.

При кантовке раската коническими роликами угол между образующими при вершине конуса принимается исходя из тех же соображений (половина угла при вершине конуса равна углу кантовки проводки). Для обеспечения более плавной работы кантующего устройства и уменьшения износа рабочих поверхностей роликов и их подшипников угол кантовки желательнее

принимать возможно меньшим. Заметим, что на практике действительный угол кантовки обычно получается несколько меньше расчетного, т. е. полоса недокантовывается. Это объясняется тем, что в силу некоторой упругости металла, он не совсем плотно прилегает к кантующим элементам роликов. Практикой установлено, что увеличение расчетного угла кантовки проводки (валков или роликов) на 0,5—1° полностью устраняет это расхождение. Помимо этого, более плотное прилегание полосы к проводке обеспечивает равномерный износ кантующих поясков, а также устраняет вредное влияние всевозможных непредвиденных факторов (плохое выполнение кантуемого сечения, неравномерный нагрев раската и т. п.).

Метод кантовки раската с помощью косо врезанных калибров нашел свое применение в кантующих роликах и валках непрерывно-заготовочных станов. Величина угла наклона кантуемого калибра принимается исходя из прежних рассуждений в зависимости от расстояния между осями прокатных и кантующих валков и общего расстояния между рабочими клетями. Практика показала, что для обеспечения плавного входа полосы в кантующий калибр и увеличения срока службы кантующих валков угол наклона калибров не должен превышать 18—20°. При необходимости кантования полос в кантующем устройстве на больший угол оси роликов целесообразнее размещать наклонно к горизонту.

Если кантующее устройство состоит из геликоидальных проводок и расположенных вслед за ними кантующих роликов, как это сделано, например в конструкции, изображенной на рис. 43, то угол кантования проводок $\varphi_{пр}$ делается на 3—5° меньше конечного угла кантования φ_k . Окончательная докантовка полосы осуществляется кантующими роликами и

$$\varphi_{пр} = \varphi_k \frac{L_{пр}}{L_k} - (3 - 5)^\circ. \quad (\text{VII}, 63)$$

Форма кантующего калибра соответствует форме поперечного сечения кантуемой заготовки (рис. 50). Скручивание полосы при прохождении ее через калибр производится рабочими поясками. Ширина этих поясков составляет обычно 30—40% от ширины задаваемого раската. Устранение нежелательного обжатия заготовки кантующими валками, которое может иметь место при увеличении размеров выходящего сечения, достигается наличием специальных клиновых углублений в донной части калибров и зазоров по ширине.

Для предотвращения вдавливания кантующих поясков в поверхность прокатываемого профиля переход от пояска к нерабочей части калибра должен быть плавным. Величина наибольшего зазора между калибром и раскатом у кантующих валков непрерывно-заготовочных станов обычно принимается равной 20—25 мм.

27. Подшипники роликовой проводковой арматуры, их смазка и охлаждение

Подшипники роликов, как и сами ролики, часто определяют срок службы проводковой арматуры качения и эффективность ее применения. Исключительно тяжелые условия службы подшипников, достаточно подробно охарактеризованные нами ранее, заставляют относиться к выбору их типа и конструкции особенно требовательно.

В практике известны случаи использования самых различных видов подшипников.

Проводились опыты по изготовлению вкладышей подшипников из чугуна, бронзы и других антифрикционных металлов и сплавов, однако удовлетворительные результаты получены не были.

Использование в качестве материала для вкладышей текстолита (или других феноловых пластмасс) показало очень хорошие результаты при прокатке алюминия. Несмотря на относительно низкую стоимость текстолита, высокие антифрикционные качества и широкую его распространенность, эффективность применения текстолитовых подшипников при прокатке стали оказывается очень низкой. Основной причиной этого является малая стойкость текстолита, что приводит к быстрому нарушению заданной установки роликов. Поэтому текстолитовые подшипники могут использоваться в таких конструкциях арматуры, где не обязательно особо точное положение роликов, например в роликовых проводковых брусках и выводных линейках, вводных линейках для крупных и устойчивых профилей, некоторых кантовующих устройствах и т. п. Отдельные описываемые в литературе случаи применения текстолита для подшипников роликов вводных проводок, употребляемых при прокатке стали [26, 92], должны оцениваться очень осторожно. При оценке возможности использования текстолита следует учитывать еще один его недостаток — высокий коэффициент трения покоя, который значительно повышает инерцию роликов в наиболее ответственный начальный момент их работы.

В настоящее время можно считать доказанным, что наиболее подходящим видом подшипников для роликов проводковой арматуры являются подшипники качения.

Известно два способа установки подшипников. По первому из них ролик наглухо насаживается на ось (или выполняется за одно целое с осью) и вращается в подшипниках, помещаемых вне тела ролика. Во втором случае подшипники монтируются внутри полого ролика, который вращается вокруг неподвижной оси. Первый вариант (рис. 102 и 25) имеет то преимущество, что подшипники выносятся из зоны высоких температур и могут быть более надежно защищены от попадания в них окалины и воды. Помимо этого, ролик становится более

простой и дешевой деталью, замена его в случае выработки или поломки упрощается и не требует перестановки самих подшипников. Тем не менее, в практике получил преимущественное рас-

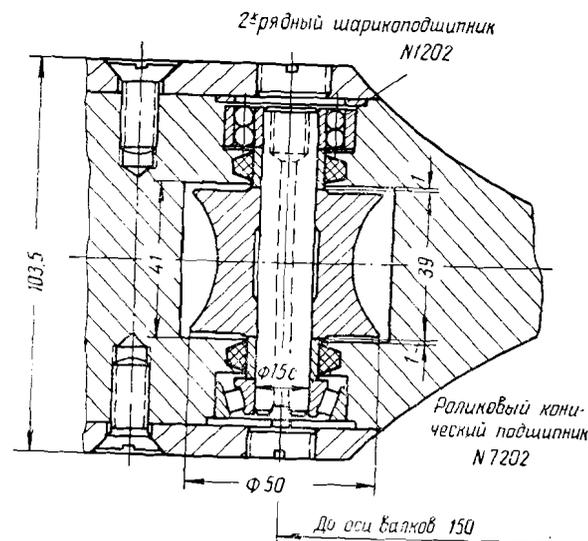


Рис. 102. Монтаж удерживающего ролика на вращающейся оси

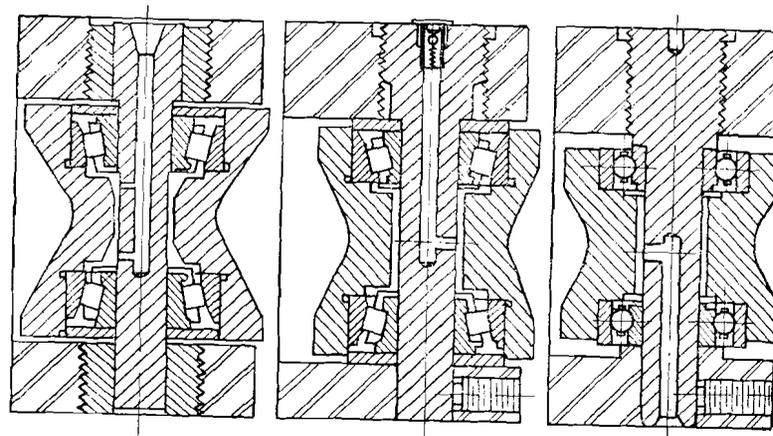


Рис. 103. Монтаж удерживающих роликов на неподвижных осях

пространение второй способ монтажа. Это объясняется необходимостью вписываться в ограниченные габариты арматуры и стремлением максимально приблизить ролики к прокатным валам. Пример различных способов монтажа роликов на неподвижных осях показан на рис. 103.

Размеры и масса роликов должны соответствовать сечению проводимой полосы. В противном случае силы трения, возникающие между раскатом и роликами, будут недостаточны для их вращения, что вызовет повышенный износ роликов и ухудшит работу проводки.

Время, необходимое для разгона неподвижного ролика проводки прокатываемой полосой, можно определить из уравнения количества движения, которое для вращающейся массы может быть записано как

$$Mt = I\omega. \quad (\text{VII}, 64)$$

Момент инерции для полого цилиндра (ролика) приближенно можно представить в виде

$$I \approx 0,1H(D^4 - d^4)\rho = 0,1H(D^4 - d^4) \frac{\gamma}{g}. \quad (\text{VII}, 65)$$

Здесь H — высота ролика;

D — его средний наружный диаметр;

d — средний внутренний диаметр ролика;

ρ — плотность материала ролика;

γ — удельный вес;

g — ускорение силы тяжести.

Имея в виду, что

$$\left. \begin{aligned} \omega &= \frac{2N}{D}; \\ M &= f \cdot R \cdot \frac{D}{2}, \end{aligned} \right\} \quad (\text{VII}, 66)$$

где v — скорость движения раската;

f — средний коэффициент трения раската о ролик;

R — сила давления металла на ролик.

Время разгона (раскручивания) ролика:

$$t \approx 0,4 \frac{H_1(D^4 - d^4)}{gIRD^2} \text{ сек.} \quad (\text{VII}, 67)$$

Из этой формулы видно, что при высоких скоростях прокатки увеличение размеров ролика (момента инерции) резко увеличивает время разгона и ухудшает условия службы арматуры. Размеры роликов определяются исходя из двух основных соображений. С одной стороны, с увеличением размеров ролика увеличивается его прочность и стойкость, появляется возможность использования подшипников более тяжелой серии и т. д. С другой стороны, чем меньше удерживающие ролики, тем ближе можно поместить их к плоскости захвата и этим улучшить условия удерживания раската, тем меньше могут быть габариты всей конструкции, что в условиях работы на стане также играет немаловажную роль. В случае необходимости инерцию

роликов можно уменьшить путем высверливания (оставления при отливке) полостей в теле ролика, либо путем расположения подшипников внутри полого ролика (рис. 104). В литературе [98] имеются сведения, что для этих целей ролики кантующих проводок оснащались специальными лопастями, на которые направлялась струя воды, вращавшая ролики во время пауз.

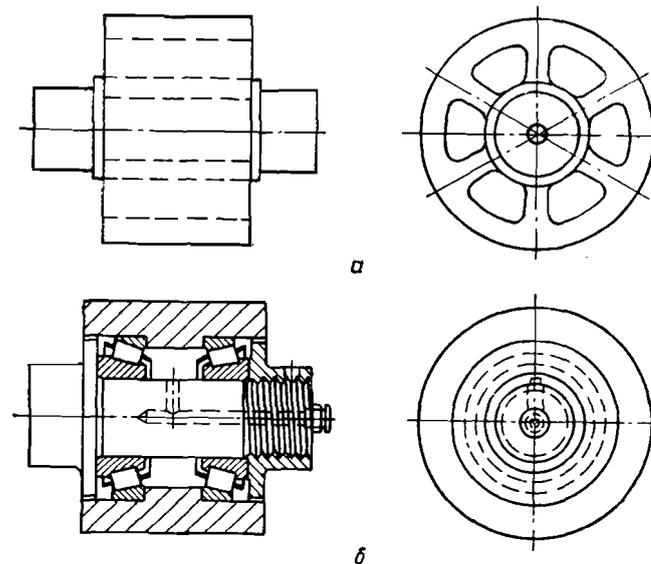


Рис. 104. Примеры уменьшения инерции роликов кантующей проводки:
а — путем выборки полостей; б — путем размещения подшипников внутри полого ролика

Как в отечественной, так и в зарубежной практике, в качестве подшипников арматуры качения преимущественное применение получили однорядные радиальные шарикоподшипники и конические роликоподшипники. Обычно ролики монтируются на двух подшипниках, хотя известны случаи установки роликов небольшого диаметра на одном радиальном шарикоподшипнике и роликов для крупных раскатов на четырех конических роликоподшипниках.

Радиальные однорядные шарикоподшипники вместе с восприятием радиальной нагрузки по своим конструктивным особенностям способны воспринимать и осевые усилия, действующие в обе стороны, что дает возможность использовать их наряду с основным назначением для фиксации положения ролика в осевом направлении. Подшипники такого типа имеют наименьшие потери на трение по сравнению с другими подшипниками соответствующих габаритов. Необходимо иметь в виду, что

радиальные однорядные подшипники могут работать с перекосом внутреннего кольца по отношению к наружному кольцу не более $15'$. При установке колец с большими перекосами долговечность подшипников резко снижается — возможны аварийные выходы из строя из-за разрыва сепаратора и перегрева.

В большинстве конструкций роликовой арматуры выбор типа подшипника качества в значительной мере определяется наличием свободного места под его посадку. Считается [18], что срок службы равноценных номеров роликовых и шариковых подшипников примерно одинаков. Поэтому применение шарикоподшипников, имеющих уменьшенное сравнительно с роликовыми подшипниками отношение наружного диаметра к внутреннему, оказывается более целесообразным в проводках с небольшими размерами роликов. В отечественных конструкциях арматуры для проволочных и мелкосортных станов наиболее часто применяются однорядные радиальные шарикоподшипники средней серии (№ 302—309, ОСТ 6121—39). Результаты эксплуатации таких подшипников довольно различны, что объясняется различием условий, в которых они работают.

Размещение подшипников в малогабаритных роликах вводных проводок часто сопряжено с резким ослаблением прочности тела ролика. Наиболее опасными сечениями в этом случае чаще всего оказываются радиальные сечения, проходящие через вершину ручья или по дну выточки под подшипники. Для предотвращения поломок по этим сечениям минимальную толщину стенки ролика рекомендуется принимать равной:

- для кругов диаметром менее 50 мм, $\Delta \approx 0,082 d + 3$ мм;
- для кругов диаметром более 50 мм, $\Delta \approx 0,062 d + 4$ мм.

где Δ — начальная толщина стенки ролика в наиболее слабом месте;

d — диаметр наибольшего круга или сторона наибольшего квадрата, удерживаемого в роликах;

c — величина наибольшего допустимого радиального износа ролика.

Иногда в случае отсутствия подходящих номеров шарикоподшипников и при необходимости уменьшения наружного диаметра подшипника, могут быть использованы конические роликоподшипники со снятым наружным кольцом. Роль наружного кольца в этом случае выполняется внутренней конусной расточкой ролика. На рис. 105, б показана такая установка подшипников в удерживающем ролике. Рядом (рис. 105, а) для сравнения приведен такой же ролик, посаженный на обычные (комплектные) конические подшипники. Установка конических роликоподшипников без наружных колец не встречает серьезных технических трудностей. Использование в качестве наружного кольца внутренней поверхности тела ролика заметно увеличивает прочность последнего.

При употреблении конических роликоподшипников необходимо иметь в виду, что они весьма чувствительны к осевой установке: при сильной затяжке они интенсивно греются, при большой же осевой игре возможно разрушение подшипника. Поэтому как при монтаже, так и в эксплуатации, необходимо обращать особое внимание на осевую регулировку подшипников. По мере увеличения осевой игры в процессе эксплуатации этих подшипников производится их подрегулировка во время профилактических осмотров и ремонтов.

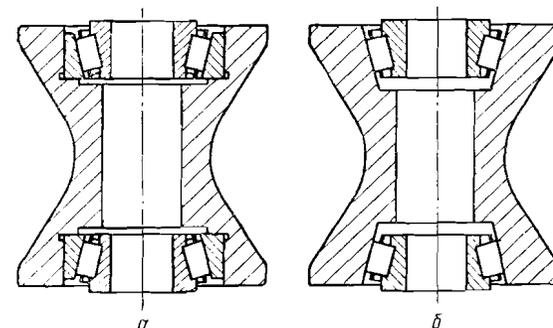


Рис. 105. Установка конических роликоподшипников в удерживающем ролике:
а — обычным способом; б — без наружного кольца

Конические роликоподшипники с переменным успехом используются в роликовой арматуре различных сортов станов, однако преимущественно их применяют в арматуре среднесортных и крупносортных станов, размеры роликов которой позволяют устанавливать подшипники больших габаритов. Обычно используются стандартные конические роликоподшипники легкой, средней и средней широкой серий (ГОСТ 333—55).

Из нестандартных подшипников качества заслуживают внимания подшипники, применяемые в роликах вводных пропусков Златоустовского металлургического завода и изготавливаемые силами завода. Конструкция этих подшипников описывалась ранее (раздел 3, рис. 15).

В связи со спецификой условий эксплуатации роликовой арматуры при ее проектировании следует иметь в виду, что в настоящее время отечественной подшипниковой промышленностью производится, как разновидность основного типа радиальных однорядных шарикоподшипников, подшипники с одной и двумя защитными шайбами, а также со встроенными фетровыми и резиновыми уплотнениями. Эти подшипники предназначены для применения при ограниченных габаритах подшипникового узла, когда затруднена возможность установки самостоятельных уплотняющих устройств или невозможно питание подшипников смазкой в процессе эксплуатации.

Стойкость подшипников роликовой арматуры [94]

Завод, стан	Диаметр прокатываемого профиля (круга), мм	Диаметр ролика мм	Скорость вращения ролика об/мин	Тип подшипника	Вид и способ смазки	Срок службы подшипника ч
Челябинский металлургический завод						
Непрерывный сортовой стан 300, скорость прокатки 6—12 м/сек	Арматурная сталь № 14—18	65	2400—3600	Роликовый конический 7204	Смазка типа ИП-1	2500—3000
	14—30	75	1600—3200	То же	Периодическая подача от станции СРГ-12	
Линейный мелкосортный стан 300, скорость прокатки 4—5 м/сек	18—21	80	1000—1300	» »	Набивка смазкой ИП-1 при сборке арматуры	500—1000
	22—30	110	750—900	Шарикоподшипник радиальный однорядный 306	Смена смазки через 10—20 ч	
Линейный среднесортный стан 350, скорость прокатки 3—5 м/сек	28—58	92	До 1100	Роликовый конический 7306	Набивка смазкой ИП-1 при сборке арматуры	700—800
	60—70	102	До 350	Роликовый конический 7307	Смена смазки через 17—25 ч	
Кузнецкий металлургический комбинат						
Крупносортный стан 500, скорость прокатки 6—7 м/сек	60—70	140	850—1000	Шарикоподшипник радиальный 36211	Набивка ИП-1 меняется через 10—15 ч	3000—3500

Продолжение табл. 20

Завод, стан	Диаметр прокатываемого профиля (круга), мм	Диаметр ролика мм	Скорость вращения ролика об/мин	Тип подшипника	Вид и способ смазки	Срок службы подшипника ч
Линейный среднесортный стан 360, скорость прокатки 3—3,5 м/сек	40—45	65	900—1100	Роликовый конический 7203	Набивка ИП-1 меняется через 20—30 ч	1500—2000
Завод Днепропеталь						
Линейный среднесортный стан 325, скорость прокатки 5—6 м/сек	20—50	120	850—1000	Роликовый конический 7506	ИП-1 от централизованной системы 6 г/ч	1500—1800
Линейный мелкосортный стан 280, скорость прокатки 6—7 м/сек	8—12	75	1500—1800	Роликовый конический 7204	ИП-1 от централизованной системы 6 г/ч	1500—2000
Магнитогорский металлургический комбинат						
Среднесортный стан 300, скорость прокатки до 10 м/сек	32—50	120	До 1900	Роликовый конический 7207	Набивка ИП-1 при сборке арматуры	1500—2200
Мелкосортный стан 300, скорость прокатки до 12 м/сек	25—30	110	До 2100	Текстолит. вкладыш	Подача воды через ось	8—15

Первый опыт применения таких подшипников (№ 80203К и 80201 с двумя защитными шайбами) для установки роликов вводной проводки проволочного стана 250 показал очень хорошие результаты.

Напомним, что работоспособность подшипников качения и конструкций, в которых они установлены, зависит не только от правильного выбора подшипников, но также и от целого ряда сопутствующих факторов. Основными из них являются следующие:

а) конструкция уплотнения и надежность защиты подшипника как от попадания окалины, воды и грязи, так и от вытекания смазки из корпуса;

б) сорт смазки и метод ее подвода;

в) правильный выбор посадки подшипника и крепление его на оси и в корпусе ролика;

г) обеспечение точности обработки посадочных мест как по размерам, так и по взаимным биениям.

В тяжелых условиях работы арматуры на стане влияние этих факторов сказывается особенно заметно, и пренебрежение хотя бы одним из них резко снижает нормальный срок службы подшипников. Известны, например, случаи, когда отсутствие необходимой смазки снижало срок службы подшипников с нескольких месяцев до нескольких часов.

Опыт эксплуатации роликовой арматуры показал, что небольшие размеры роликов не позволяют поместить в их внутренней полости достаточное количество закладной смазки. Высокие скорости вращения роликов даже при надежных уплотнениях приводят к быстрому расходованию смазки, помещенной в полости. Из сказанного вытекает практический вывод — смазку подшипников роликовой арматуры по возможности следует осуществлять от централизованной смазочной системы. Периодическая подача в полость ролика (в подшипники) достаточного количества смазки под давлением является наилучшей защитой подшипников от попадания в них грязи и воды. Такая система смазки подшипников позволяет избежать применения сложных уплотнительных устройств, упростить изготовление, сборку и ремонт узла роликов. Количество смазки и частота ее подачи в подшипники при прочих равных условиях должны увеличиваться с увеличением скорости вращения роликов. При вертикальном расположении осей роликов в верхний подшипник смазка должна подводиться более интенсивно.

Из отечественных смазочных материалов, применяемых для смазки подшипников роликовой арматуры, преимущественное распространение получили густые смазки с температурой каплепадения не ниже 75—90° С. (Индустриальная смазка для прокатных станов ИП ГОСТ 3257—53 и солидол жировой ГОСТ 1033—51.)

В иностранной практике существует мнение [25], что при

скоростях прокатки более 8 м/сек подшипники роликовых проводок должны смазываться жидкой смазкой, подаваемой в полости подшипников в виде масляного тумана. Такой род смазки увеличивает срок службы подшипников более, чем в два раза, по сравнению со случаем, когда в них каждые полчаса подается густая смазка. При скоростях прокатки ниже 8 м/сек рекомендуется обеспечить непрерывную подачу в подшипники густого смазочного материала.

Стойкость роликов и долговечность их подшипников в значительной мере зависит от интенсивного охлаждения этого узла. Для большинства смазочных материалов, применяемых в прокатном производстве, нормальная температура подшипников не должна превышать 60—80° С. Обычно для охлаждения роликов проводковой арматуры используется «техническая вода», подаваемая с помощью всевозможных брызгал, трубок, отверстий в теле проводки и т. п. Известны случаи [20], когда для охлаждения роликов используют специальные эмульсии.

28. Материал роликов

Ролики проводковой арматуры работают в исключительно тяжелых условиях. Между тем стойкость роликов, являющихся основными деталями арматуры качения, главным образом и определяет срок ее службы и рентабельность использования. Поэтому выбору материала роликов должно уделяться серьезное внимание.

В настоящее время наблюдается большое разнообразие материалов, идущих на изготовление роликов проводковой арматуры. Иногда на одном заводе и даже на одном стане применяется арматура, оснащенная роликами из различных материалов. Отсутствие на большинстве заводов правильной учета проводковой арматуры весьма затрудняет определение ее стойкости и расхода. Почти не встречается таких данных и в литературе. Если учесть, что эффективность применения того или иного материала определяется не только его износостойчивостью, но также техническими возможностями, имеющимися на данном заводе, и соображениями экономического характера, то затруднительность выбора материала роликов становится очевидной. Тем не менее правильное использование имеющегося опыта — с учетом особенностей работы арматуры и реальных возможностей в условиях определенного завода — позволяет подобрать подходящий материал.

При прокатке стали в настоящее время наиболее широко используются ролики из отбеленного и легированного чугуна, а также из различных литых и кованных легированных сталей. В отечественной практике, пожалуй, наиболее широкое применение нашла шарикоподшипниковая сталь ШХ15. Ролики из этой стали изготавливаются как с последующей поверхностной

закалкой, так и без нее. Стойкость роликов из стали ШХ15 в зависимости от размеров удерживаемого сечения и условий эксплуатации колеблется в довольно широких пределах. Так, при прокатке катанки диаметром 5,25—7 мм ролики, удерживающие чистовые овалы, пропускают между переточками 200—250 т металла и допускают 4 переточки. При прокатке крупных кругов стойкость роликов из этой же стали оказывается в 25—26 раз больше и составляет 5000—6500 т прокатанного металла между переточками. В рекомендациях Украинского института металлов в отношении конструкций и материалов арматуры [50] сталь ШХ15 считается одним из наиболее удачных материалов для изготовления роликов (названы также сталь ШХ9 и кованая сталь марки Ст. 5 с последующей поверхностной закалкой). Вместе с тем, некоторые заводы («Электро-сталь», Златоустовский) отказались от применения роликов из стали ШХ15, в основном, из-за появления поверхностных температурных трещин при резком охлаждении разогретых роликов водой.

Довольно высокую стойкость показали ролики, изготовленные из стали ЭШХ15 с термической обработкой по следующему режиму: закалка с $840 \pm 20^\circ\text{C}$ в масле; отпуск при 170°C до получения твердости 62—64 RC ($\approx 650\text{ HB}$). При прокатке кругов на стане 600 эти ролики пропускают до 8000 т металла.

На многих заводах для изготовления роликов применяют сталь типа Х12Ф1. Стойкость роликов из такой стали колеблется в значительных пределах. Ролики вводных проводок линейного стана 300, изготовленные из стали Х12Ф1 с последующей термообработкой (закалка с $1100\text{—}1150^\circ\text{C}$ в масле; отпуск при $450\text{—}500^\circ\text{C}$ с обеспечением твердости 62—65 RC), выдерживают 4 переточки и пропускают между переточками 300—500 т круглой стали диаметром 8—23 мм.

Ролики из стали 12ХФА, используемые в арматуре мелко-сортных линейных станов, прокатывающих весьма разнообразный сортамент качественных сталей, по некоторым данным [19], работают десятки и сотни часов без ремонта.

Известны случаи использования и других легированных сталей. Например, ролики вводных проводок непрерывного сортового стана 350 изготавливаются из стали 65Г с последующей термообработкой до твердости 350—380 HB. Эти ролики при прокатке кругов диаметром 10—25 мм проводят до ремонта 700—1200 т чистового овала.

При прокатке сталей, легированных хромом и никелем, возникает опасность налипания (наваривания) частичек прокатываемого металла на поверхность роликов, что сразу же сказывается на качестве поверхности проката и требует замены проводковой арматуры. Для устранения этого нежелательного явления ролики проводковых устройств рекомендуется изготовлять из стали Х10С2М или 36Г2С и 38ХМЮА. (Стойкость

последних несколько ниже стойкости роликов из дорогостоящей стали Х10С2М.)

Кроме этого, для изготовления роликов вводных проводок рекомендуются [13] стали Х12М, Х12Х1, 10ХНВ2С.

В последнее время на некоторых отечественных заводах перешли на изготовление роликов из углеродистых сталей, которые затем подвергаются термической обработке или наплавляются высокопрочными сплавами — стеллитом, сормайтотом, порошковыми электродами (Х12В1Ф, Х10В14, 2Х3В8) и электродами, разработанными ЦНИИТМАШ (ЦН-2, ЦН-3, ЦН-4, ЦИ-1М, ЦС-1, ЦС-2). Химический состав материала этих электродов приведен в табл. 21.

В 1958—1959 гг. ВНИИ-МЕТМАШ были проведены работы по исследованию стойкости роликов, наплавленных твердыми сплавами и отлитых из чугуна различного химического состава. Испытания роликов из этих материалов проводились на среднесортном стане кросс-коунтри 300-1 Магнитогорского металлургического комбината и на непрерывном мелкосортном стане 300-2 Челябинского металлургического завода. Основные результаты испытаний сведены в табл. 22.

Хорошие результаты получены при употреблении стали 40 с наплавкой высокомарганцовистой стали ЭИ94 (стан 450) и углеродистой стали 45 (0,40—0,50% С) с последующей закалкой бочек роликов в воде (стан 600), а также при

Таблица 21

Химический состав электродов ЦНИИТМАШ для наплавки роликов

Марка электрода	Химический состав, %										Твердость RC			
	C	Si	Mn	Cr	Ni	W	V	Co	S и P	Fe	после наплавки	после отжига	после завалки	после отпуска
ЦИ-1М	0,7—0,8	0,4	0,4	3,8—4,6	—	17,5—19,0	1,0—1,4	—	$\leq 0,08$	Ост.	57—62	30—35	56—59	62—65
ЦС-1	1,5—3,3	2,8—4,2	$\leq 1,5$	25—31	3—5	—	—	—	$\leq 0,08$	»	48—54	Термической обработке не поддается		
ЦС-2	1,5—2,0	1,5—2,2	$\leq 1,0$	13—17,5	1,3—2,5	—	—	—	$\leq 0,07$	»	39—45	Термической обработке не поддается		
ЦН-2	1,7—2,0	2,0—2,5	—	28—32	—	4,5	—	59—66	—	$\leq 3,5$	45—53	Термической обработке не поддается		

Таблица 22

Результаты испытания роликов [94]

Материал ролика	Твердость RC	Профиль полосы	Скорость прокатки м.сек	Стойкость ролика т
Магнитогорский металлургический комбинат				
Сталь ТВМ цементированная	54—57	Предчистовой овал для круга $\varnothing 32$ мм	10	800—900
Сталь Х10С2М	55—57	То же	10	1300—1500
Хромистый чугун ¹	45—48	» »	10	2500—3000
Наплавлен ЦН-2	48—54	» »	10	5000—5500
» ЦИ-1М	53—56	» »	10	3500—4000
» ЦС-1	52—54	» »	10	7500—8000
» ЦС-2	58—62	» »	10	6000—7500

Челябинский металлургический завод

Сталь 5ХВ2С	60—64	Черновой овал 20 \ 52	6—7	2000
Отбеленный чугун ²	50—52	То же	6—7	7400—7600
Сталь Х10С2М	56—58	Предчистовой овал для круга $\varnothing 22$ мм	11,5—12	2000—2500
Сталь 5ХВ2С	60—64	То же	11,5—12	До 2000
Наплавлен ЦИ-2	49—53	» »	11,5—12	4500—5000
» ЦИ-1М	59—63	» »	11,5—12	6000—6500
» ЦС-1	56—58	» »	11,5—12	6500—7000
» ЦС-2	54—56	» »	11,5—12	6500—7000

Примечания: 1. Химический состав чугуна, %: 2,2—2,29 С; 0,5—0,8 Si; 0,4—0,7 Mn; 0,08—0,1 Р и S; 15—16 Cr; 0,7—0,9 Ni.
2. Химический состав чугуна, %: 3,2—3,4 С; 1,5—2,5 Si; 0,5—0,9 Mn; 0,09 S; 0,17—0,25 Р; 0,35—0,85 Cr; 0,3—0,8 Ni.

дуговой наплавке твердых сплавов ВК2 и ВК3 на вязкую заготовку из среднеуглеродистой стали 30 или 35.

Аналогичное положение с материалами для роликов наблюдается и в зарубежной практике. В основном употребляют различные легированные стали; применяются углеродистые стали с закаленной поверхностью и различные наплавки на мягкую стальную основу. Известны попытки использования и некоторых других материалов. Срок службы стальных роликов соответствует, примерно, приведенным выше цифрам. По данным Вусатовского [43], стойкость роликов из легированной стали зависит от размеров прокатных изделий и колеблется в пределах от 1500 т прокатанного металла для кругов диаметром 12,7 мм до 4000 т для кругов диаметром 25 мм. Табл. 23 дает некоторое представление о стойкости роликов из легированной стали, применяемых в американской и английской практике [18].

Представляет интерес использование в качестве материалов для роликов одной из разновидностей твердых сплавов — механита типа GM (Meehanite type GM) [90].

По имеющимся данным, ролики из такого материала употребляются на заводах компании Jones and Laughlin steel Corp. в Пенсильвании на заготовочных станах 530 и 460, установленных последовательно за блюмингом.

На этих станах применяются такие конструкции проводок, в которых раскат во время прохождения его через ролики соприкасается только с одной половиной бочек роликов, а вторые половины при первой установке не работают. После того как первая половина бочки выработается сверх допустимых пределов, ролики переворачиваются и начинают работать их вторые половины. Таким образом, одна пара роликов совершает до ремонта как бы две кампании. В указанных проводках нельзя изменять расстояние между осями роликов после их установки, поэтому величина допустимой выработки роликов определяется условиями нормальной работы проводки (требуемой степенью кантовки).

Первая пара гладких цилиндрических роликов из механита была установлена в кантовочной проводке стана 460 в начале 1951 г. Одновременно испытывались ролики из марганцовистой и высоколегированной литой стали. Вес металла, пропускаемого каждым видом роликов, тщательно регистрировался. Максимальная масса, полученная при использовании роликов из марганцовистой и высоколегированной стали составила 19000 т за две установки роликов (ролики один раз переворачивали), тогда как стойкость механитовых роликов составила 22000 т за первую установку (до поворота роликов) и 55000 т за вторую, т. е. почти в 4 раза больше. Стоимость первых механитовых роликов соответствовала $\frac{2}{3}$ стоимости наиболее дешевых роликов из марганцовистой стали или $\frac{1}{3}$ стоимости роликов из высоколегированной стали.

После испытаний на стане 460 ролики из механита были внедрены и на втором стане (530). Этот стан прокатывает квадратную заготовку 100×100 мм из блюмов 200×200 . Наибольшая стойкость механитовых роликов, достигнутая на этом стане, составила 70000 т прокатанного металла. Ролики из механита типа GM не поддаются ремонту путем перешлифовки или наплавки, что является их отрицательным свойством, однако низкая стоимость и высокая стойкость делают их применение весьма эффективным. Следует также иметь в виду, что сработавшиеся механитовые ролики могут быть использованы для кантовки профилей меньших размеров.

Из наиболее удачных материалов для наварки роликов следует назвать стеллит, [17, 20]. Одним из положительных качеств стеллита, помимо значительной твердости и износостойкости, является его термостойкость. Стеллит изобре-

Сравнительная стойкость проводковой арматуры различных типов

Завод	Тип стана	Клети	Диаметр прокатываемого профиля, мм	Вид арматуры	Материал рабочих элементов	Средняя стойкость (до ремонта)		По чьим данным
						м	ч	
Макеевский металлургический завод им. Кирова	Проволочный непрерывный 250	XII	6,5	Вводные пропуски скольжения	Чугун СЧ21-40	100—600	2—10	—
		XII	6,5	То же	Вставки из хромированной стали	2600	27	[59]
		XII	6,5	» »	Вставки из борированной стали	5000	108	—
Завод в США	Проволочный высокоскоростной непрерывный	Чистовая	—	» »	Вставка из карбида титана	—	200	[7,57]
«Серп и молот»	Проволочный линейный 250		» »	» »	Специальная высоколегированная сталь ¹	—	200—270	Тех. отдел завода [91]
Днепропетровский им. Дзержинского	Проволочный линейный 260		» »	» »	Хромированная рабочая поверхность	—	160	
Челябинский металлургический	Мелкосортный линейный 300	»	Мелкие круги	» »	Титаномедистый чугун ²	—	80—100	Тех. отдел завода
Макеевский металлургический завод им. Кирова То же	Мелкосортный непрерывный 350-2	»	10—25, арматурный № 14—25	» »	Чугун СЧ21-40	—	1—2	То же
	Проволочный непрерывный 250	»	6,5	Вводная 2-роликковая проводка	—	—	150—300	[41]

Продолжение табл. 23

Завод	Тип стана	Клети	Диаметр прокатываемого профиля, мм	Вид арматуры	Материал рабочих элементов	Средняя стойкость (до ремонта)		По чьим данным
						м	ч	
«Серп и молот»	Проволочный линейный 250	Чистовая	5,25—7	Вводная роликковая	Сталь ПХ—15	—	120	Тех. отдел завода [34]
			»	5,25—7 8—12	пружинящая То же	Специальная высоколегированная сталь*	—	
«Днепропетсталь»	Мелкосортный линейный 280	»	8—12	Вводная 4-роликковая проводка	Сталь Х12Ф1	500—700	—	Тех. отдел завода [94]
Челябинский металлургический	Мелкосортный линейный 300	»	18—21	Вводная проводка	Сталь Х10С2М	1000—1300	—	—
			22—30	Вводная проводка с 3 парами роликов	Сталь Х10С2М	1500—1800	—	
Магнитогорский металлургический комбинат	Мелкосортный полунепрерывный 300	»	25—30	Вводная роликковая проводка	Цементированная сталь ТВМ ³	700—800	—	[13]
Челябинский металлургический	Мелкосортный непрерывный 300	»	Арматурная сталь № 14—18	Вводная 2-роликковая проводка	Сталь Х10С2М	2500—5000	—	—
			»	То же	Сталь 36Г2С	До 4000	—	
			»	14—30	Сталь Х10С2М	2000—3500	—	
			»	14—16	Сталь 36Г2С	600—1000	—	
			»	18—25	Сталь 36Г2С	1500—2100	—	
»	28—30	Сталь 10ХНВ2С	3000—3500	—	[94]			
»	14—30	—	—	—	—	—	—	
Макеевский металлургический завод им. Кирова	Мелкосортный непрерывный 350-2	Предчистовая Чистовая	10—25, арматурный № 14—25	Вводная двухроликковая проводка	Сталь Х10С2М	До 10000	—	Тех. отдел завода
			»		Сталь 65Г	—	24—40	

Завод	Тип стана	Клети	Диаметр прокатываемого профиля, мм	Вид арматуры	Материал рабочих элементов	Средняя стойкость (до ремонта)		По чьим данным
						т	ч	
«Электросталь»	Мелкосортный линейный 300/450	Чистовая	8—23	Вводная 4-роликковая проводка	Сталь Х12Ф1	500	80	Тех. отдел завода
Завод в Англии	Мелкосортный линейный	»	9—5	Вводная роликковая пружинящая проводка	Стальные стеллитированные ⁴	10000	Около 2-х лет	[17]
Завод в Польше	—	»	12,7—25	Вводные роликковые проводки	Легированная сталь	1500—4000	—	[43]
Магнитогорский металлургический комбинат	Среднесортный 300	»	32—35	Вводная 2-роликковая проводка	Цементированная сталь ТВН	800—900	—	[13]
«Днепроспецсталь»	Среднесортный линейный 325	»	20—25 40—50	Вводная 4-роликковая проводка	Сталь ШХ-15 Сталь ШХ-15	950—1250 1800—2100	—	Тех. отдел завода
Челябинский металлургический	Среднесортный линейный 350	»	28—58 60—70	То же » »	Сталь Х10С2М Сталь Х10С2М	2000—3000 До 20000	—	[94]
Кузнецкий металлургический комбинат	Среднесортный линейный 360	»	40—45	» »	Сталь 40Х	1500—1800	—	[94]
«Электросталь»	Крупносортный 500	»	60—70	» »	Сталь ШХ-15	5000—6000	—	—
«Электросталь»	Среднесортный 600	»	70—100	Вводная 4-роликковая проводка	Сталь ЭШХ-15	8000	—	Тех. отдел завода

Продолжение табл. 23

Завод	Тип стана	Клети	Диаметр прокатываемого профиля, мм	Вид арматуры	Материал рабочих элементов	Средняя стойкость (до ремонта)		По чьим данным
						т	ч	
Завод в США	—	Чистовая	54—65,1	Вводные роликковые проводки	Легированные стали	8000	—	[18]
			41,3—52,4			8000		
			31,7—37,7			6000		
			20,6—30,2			2000		
Джон и Лафлин Стил корпорейшн (США)	Заготовочный непрерывный 460	Все клети	—	Выводные роликковые кантовочные проводки	Марганцовистая сталь механист GM	9500	—	[90]
						38500		
Магнитогорский металлургический комбинат	Заготовочный непрерывный	Чистовая	□100	То же	Механит GM	70000	—	[90]
Аньшанский металлургический комбинат (КНР)	Заготовочный непрерывный	Все клети	—	Кантовочные валки	Сработавшиеся прокатные валки	—	4—14 мес.	[44]
Аньшанский металлургический комбинат (КНР)	Заготовочный непрерывный	I	250×183 216×132	То же » »	То же » »	—	1400—1600 1600—2000	[49]
						—		

¹ Химический состав стали, %: 1,8—2,2 С; 0,8—1,2 Mn; 0,5—1,0 Si; 23—25 Cr; 1,5—2,0 Ni; 1,0—1,3 W; 0,3—0,6 V; менее 0,045 S; менее 0,05 P.

² Химический состав чугуна, %: 2,9—3,4 C; 1,6—2,0 Si; менее 0,55 Mn; 0,5—0,7 Cr; 1,0—1,5 Cu; 0,15—0,35 Ti; 0,58—0,8 P; менее 0,12 S.

³ Химический состав стали, %: 0,24 C; 1,2 Mn; 1,5 Si; 1,2 Cr; 0,15 Mo; 1,2 Ni; 0,03 S; 0,03 P.

⁴ Химический состав стеллитовой наплавки, %: 40—55 Co; 10—25 W; 25—35 Cr; 2—3 С, иногда несколько процентов F или Mo.

тает наибольшую твердость при температуре красного каления и не теряет своих высоких качеств при температурах, достигающих 825°. Наварка стеллита производится на стальную заготовку (сталь, содержащая около 0,4% С) и представляет собой относительно сложную операцию [100].

Предварительные испытания [20] стеллитированных роликов показали их среднюю стойкость между переточками до 4000—8000 т прокатанного металла. Предполагается, что правильным подбором чередования размеров удерживаемых овалов (от меньших к большим) срок службы роликов между переточками можно удвоить. По последним сообщениям [17], опытная проводка для круга диаметром 9,5 мм, оснащенная стеллитированными роликами, проработала без переточки роликов почти два года, хотя за это время она несколько раз подвергалась ремонту, и у роликов менялись подшипники. За это время ролики пропустили более 10000 т чистовых овалов, а величина выработки слоя стеллита оказалась равной приблизительно 0,38 мм. Если учесть, что 1 т этого профиля имеет длину более 1,5 км, то исключительная стойкость таких роликов станет очевидной.

В настоящее время проводятся опыты по повторному стеллитированию отработанных роликов.

Для облегчения выбора материала рабочих элементов проводковой арматуры при ее конструировании в табл. 23 приведены данные по сравнительной стойкости роликов, изготовленных из разных материалов, которые показали наилучшие эксплуатационные результаты. В таблице даны сведения относительно типа стана, на котором использовался тот или иной вид арматуры. Учитывая изложенное выше, с помощью этой таблицы можно для конкретных условий данного завода подобрать наиболее подходящий и доступный материал.

29. Примерный поверочный расчет роликовой проводки

Для иллюстрации предлагаемой методики конструирования роликовой арматуры произведем поверочный расчет роликовой вводной пружинящей проводки, применяемой на проволочном линейном стане 250 при прокатке катанки диаметром 5,25—7 мм. Подробная характеристика этой проводки приведена ранее в п. 4. Общий вид конструкции изображен на рис. 26.

Исходные данные

Примем для расчета следующие исходные данные.

1. Выходящее сечение — круг диаметром 7 мм.
2. Входящее сечение — однорадиусный овал с размерами
 $h = 5,6 \text{ мм}; b = 11,8 \text{ мм}; r = 7,6 \text{ мм}$ (рис. 106),

который в расчетах на скручивание заменен эллипсом с полуосями

$$a = 5,2 \text{ мм}; b = 2,8 \text{ мм}; m = \frac{a}{b} = 1,86.$$

3. Прокатываемый материал — сталь Ст. 3.
4. Температура прокатки $t_n = 900^\circ \text{С}$.
5. Скорость прокатки $v = 7,5 \text{ м/сек}$.

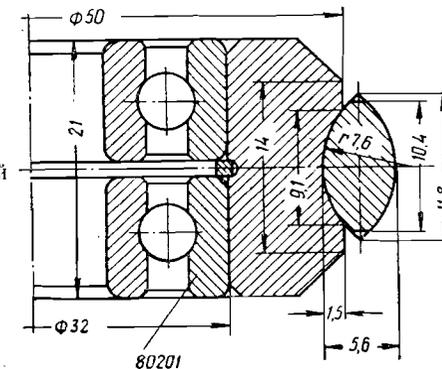


Рис. 106. Разрез ролика вводной проводки

6. Расстояние от оси роликов до осевой плоскости валков

$$L_{пр} = 75 \text{ мм (рис. 26)}.$$

7. Подшипники удерживающих роликов — однорядные радиальные шарикоподшипники с двумя защитными шайбами № 80201 (ГОСТ 7242—54).

Момент, возникающий при скручивании раската

Все расчеты, связанные со скручиванием раската при сваливании его валками, проводятся по предложенной выше (гл. V) методике:

- 1) Относительный угол закручивания θ (V, 31)*

$$\theta = \frac{\pi \cdot 2}{L_{пр}} = \frac{\pi}{2 \cdot 75} = 0,0209 \text{ 1/мм}.$$

- 2) Время деформации t (VI, 32).

$$t = \frac{L}{v} = \frac{1}{7500} = 0,000133 \text{ сек}.$$

- 3) Степень деформации γ (VI, 28')

Для $m = 1,86$ из графика рис. 75 находим $c_6 = 0,74$

$$\gamma_{ср} = \frac{4}{3} \frac{a^2 b}{a^2 + b^2} \cdot \theta \cdot c_6 = \frac{4}{3} \cdot 5,2^2 \cdot 2,8 \cdot \frac{0,0209 \cdot 0,74}{5,2^2 + 2,8^2} = 0,045 = 4,5\%.$$

4. Скорость деформации $\dot{\gamma}$ (V, 36).

$$\dot{\gamma} = \frac{\gamma}{t} = \frac{0,045}{0,000133} = 338 \frac{1}{сек} \approx 3,4 \cdot 10^2 \frac{1}{сек}.$$

- 5) Предел текучести при сдвиге k (V, 37) и модуль упругости Π (V, 38).

Для стали Ст.3 и $t_n = 900^\circ \text{С}$ из графика рис. 80 находим

$$k = 0,6 \cdot 24,5 \cdot 0,55 = 8,1 \text{ кг/мм}^2 [79,5 \text{ н/мм}^2]$$

$$\Pi = \frac{0,6 \cdot 24,5 \cdot 0,63 - 8,1}{0,045} = 26 \text{ кг/мм}^2 [255 \text{ н/мм}^2].$$

* Здесь и ниже в скобках указан номер формулы, примененной для вычисления искомой величины.

6) Момент сопротивления скручиванию M (V, 15')
 Для $m = 1,86$ из графика рис. 75 находим $c_1 = 0,31$; $c_2 = 0,24$

$$M = \frac{2}{3} \pi k a^3 c_1 + \frac{1}{2} \pi \Pi a^4 c_2 = \frac{2}{3} \pi \cdot 8,1 \cdot 5,2^3 \cdot 0,31 +$$

$$+ \frac{1}{2} \pi \cdot 26 \cdot 0,0209 \cdot 5,24 \cdot 0,24 = 740 + 150 = 890 \text{ кг} \cdot \text{мм} = 8,8 \text{ н} \cdot \text{м}.$$

Силы, действующие на ролик при сваливании раската

При сваливании раската, удерживаемого в роликах с овальными ручьями, усилия, действующие на ролик, могут быть подсчитаны согласно методике, изложенной в разделах 25 и 26.

4) Наибольшее радиальное смещение ролика Δ (VII, 43). Зависимость радиального смещения ролика от угла наклона задаваемого сечения определяется из уравнения (VII, 43)

$$\Delta = (\sqrt{k^2 \sin^2 \theta + r^2 - k^2} - k \sin \theta) \sin(\varphi + \theta) - (\sqrt{k^2 \sin^2 \gamma + r^2 - k^2} - k \sin \gamma) \sin \gamma.$$

Величины, необходимые для определения Δ по этой формуле, определяются так

$$k = r - \frac{h}{2} = 7,6 - \frac{5,6}{2} = 4,8 \text{ мм};$$

$$\gamma = \arctg \frac{\sqrt{4r^2 - B^2} - 2k}{B} = \arctg \frac{\sqrt{4 \cdot 7,6^2 - 9,1^2} - 2 \cdot 4,8}{9,1} =$$

$$= \arctg 0,287 = 16^\circ.$$

Величина угла наклона φ связана с параметром θ уравнением (VII, 44). Для нахождения зависимости $(\varphi - \theta)$ пользуемся табличным методом, т. е. задавая последовательными значениями θ , определяем соответствующие им значения φ (табл. 24). По данным табл. 24, строим график зависимости $\varphi - \theta$ (рис. 107).

Таблица 24

Определение зависимости $\varphi - \theta$ по формуле (VII, 44)

θ	$\sin \theta$	$-k \sin \theta$	$k^2 \sin^2 \theta$	$\sqrt{\quad}$	$(\sqrt{\quad})^2$	$\cos(\varphi + \theta)$	$\varphi + \theta$	$\sim \varphi$
16°	0,276	1,32	1,75	36,47	6,04	0,960	16°10'	0°
14°	0,242	1,16	1,35	36,07	6,00	0,938	20°20'	6°20'
12°	0,208	1,00	1,00	35,72	5,98	0,911	24°30'	12°30'
10°	0,174	0,835	0,70	35,42	5,95	0,887	27°30'	17°30'
5°	0,087	0,417	0,17	34,89	5,91	0,827	34°10'	29°10'
2°	0,035	0,168	0,03	34,75	5,90	0,792	37°40'	35°40'
1°	0,017	0,081	0,006	34,73	5,89	0,78	38°50'	37°50'
0°	0	0	0	34,72	5,89	0,77	39°40'	39°40'

Принимаем $\varphi = 3^\circ$. При больших углах наклона сечения нормальная прокатка невозможна вследствие искажения формы выходящего круглого

профиля. Из графика рис. 107 находим, что углу $\varphi = 3^\circ$ соответствует $\theta = 15^\circ 10'$. Подставляя полученные величины в (VII, 43), получаем

$$\Delta = (\sqrt{4,8^2 \cdot 0,262^2 + 7,6^2 - 4,8^2} - 4,8 \cdot 0,262) \cdot 0,312 -$$

$$- (\sqrt{4,8^2 \cdot 0,276^2 + 7,6^2 - 4,8^2} - 4,8 \cdot 0,276) \cdot 0,276 = 0,19 \text{ мм}.$$

2) Радиальное усилие R (VII, 46)

$$R = \frac{M \sqrt{4r^2 - B^2}}{B(2r - 2\Delta - h)} = \frac{890 \sqrt{4 \cdot 7,6^2 - 9,1^2}}{9,1(2 \cdot 7,6 - 2 \cdot 0,19 - 5,6)} = 130 \text{ кг} [1,27 \text{ кН}].$$

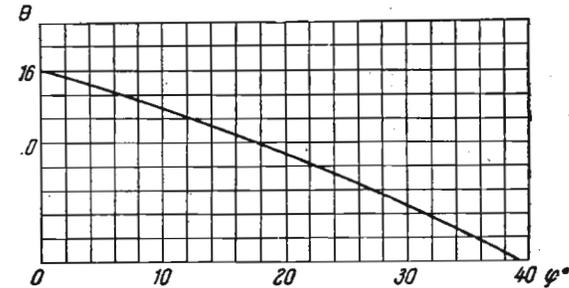


Рис. 107. Зависимость $\varphi - \theta$ для проводки рис. 26

3) Плечо приложения сил e (VII, 45)

$$e = \frac{B}{4r} (2r + 2\Delta - h) = \frac{9,1}{4 \cdot 7,6} (2 \cdot 7,6 + 2 \cdot 0,19 - 5,6) = 3,0 \text{ мм}.$$

4) Полное усилие Q (VII, 47)

$$Q = \frac{M}{2e} = \frac{890}{2 \cdot 3} = 148 \text{ кг} [1,45 \text{ кН}].$$

5) Осевое усилие

$$A = \sqrt{Q^2 - R^2} = \sqrt{148^2 - 130^2} = 70 \text{ кг} [686 \text{ Н}].$$

Сила, действующая на ролик вследствие изгиба полосы

Изгиб полосы в проводке вызывает дополнительные усилия на удерживающие ролики. Величина этих усилий может колебаться в широких пределах и зависит от целого ряда факторов. Такими факторами являются размеры сечения, марка стали, температура и скорость прокатки, конструкция проводки и т. д.

Как видно из рис. 108, в данном примере величина усилия R_1 , может изменяться от нуля до максимального значения при длине изгибаемого участка равной a и стреле прогиба $\frac{H-h}{2}$. Имея в виду (VII, 10), выражение для изгибающего момента $M_{из}$ может быть записано как

$$M_{из} = R_1 \cdot a = M_{пл.из}.$$

Как известно [75], пластический момент изгиба для идеального пластичного тела может быть определен так

$$M_{\text{пл.изг}} = 2\sigma_S S_y,$$

где σ_S — предел текучести при растяжении;

S_y — статический момент относительно оси y нижней половины поперечного сечения изгибаемого стержня.

В нашем случае половина сечения представляет собой круговой сегмент с хордой b и стрелой $\frac{h}{2}$. Статический момент такого сечения относительно оси, совпадающей с хордой, описывается довольно сложным выражением, затрудняющим практические расчеты. Имея в виду, что в общедоступной

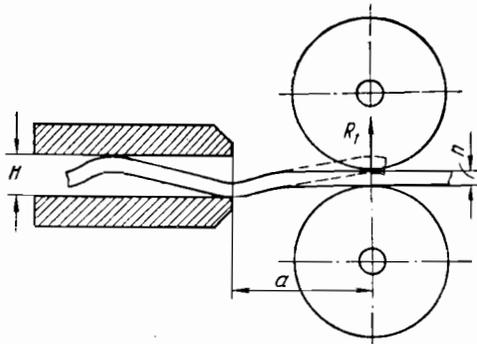


Рис. 108. Изгиб полосы в роликах проводки

справочной литературе [76, стр. 66] приводятся таблицы для определения элементов сегмента круга с хордой, равной единице, выражение для S_y целесообразно представить в следующем виде

$$S_y = \frac{b^3}{12} - \eta b^2 \left(r - \frac{h}{2} \right), \quad (\text{VII}, 68)$$

где b — полная ширина (по геометрическим точкам) овала;

h и r — толщина и радиус овала;

η — числовой коэффициент, берущийся из таблиц в графе «площадь сегмента» для данного отношения $\frac{h}{2b}$ (в справочниках обычно $\frac{h}{a}$).

Тогда выражение для $M_{\text{пл.изг}}$ можно записать как

$$M_{\text{пл.изг}} = \left[\frac{b^3}{6} - 2\eta b^2 \left(r - \frac{h}{2} \right) \right] \sigma_S. \quad (\text{VII}, 69)$$

Из графика Врацкого и Францевича [8, стр. 10], для $t_n = 900^\circ\text{C}$ определяем

$$\sigma_b \approx \sigma_S \approx 7,5 \text{ кг/мм}^2 \text{ [} 73,5 \text{ н/мм}^2 \text{]}.$$

Из таблицы 15 [76, стр. 66] для $\frac{h}{2b} = \frac{5,6}{2 \cdot 11,8} \approx 0,24$ находим $\eta = 0,167$.

Подставляя соответствующие значения в (VII, 69), получаем

$$M_{\text{пл.изг}} = \left[\frac{11,8^3}{6} - 2 \cdot 0,167 \cdot 11,8^2 (7,6 - 2,8) \right] 7,5 = 375 \text{ кгмм [} 3,7 \text{ нм]}.$$

В нашем случае (см. рис. 26) $a = 16$ мм и, следовательно,

$$R_1 = \frac{M_{\text{пл.изг}}}{a} = \frac{375}{16} = 23,4 \text{ кг [} 230 \text{ н]}.$$

Расчет подшипников

1) Число оборотов подшипника n

$$n = \frac{60v}{\pi D_{\text{рол}}} = \frac{60 \cdot 7500}{\pi \cdot 50} = 2900 \text{ об/мин.}$$

2) Расчетная нагрузка на подшипник R_p .

Как показывает анализ заводских данных и результатов экспериментов при нормальной установке проводки и правильной настройке валков, радиальные усилия, действующие на ролики вследствие небольшого поворота раската в калибре, невелики. Как правило, они не превышают 10% нагрузки, возникающей при полном сваливании овала, т. е.

$$R'_p = 0,1R = 0,1 \cdot 130 = 13 \text{ кг [} 127 \text{ н]}.$$

По этой же причине осевое усилие A получается настолько незначительным, что при расчете подшипника его можно не учитывать, полагая $A_p = 0$.

Усилия, действующие на ролики при пластическом изгибе полосы в проводке R''_p в отдельных случаях могут достигать значения $R''_p = R_1 = 23,4 \text{ кг [} 230 \text{ н]}.$ Поскольку такая нагрузка действует на ролик в течение кратковременных интервалов, можно принять, что

$$R''_p = 0,7 R_1 = 0,7 \cdot 23,4 = 16,4 \text{ кг [} 161 \text{ н]}.$$

При этом следует иметь в виду, что при определении условной нагрузки кратковременные перегрузки и удары должны быть учтены при выборе коэффициента режима работы подшипника K_G .

Таким образом общая величина расчетной нагрузки на ролик будет

$$R_p = R'_p + R''_p = 13 + 16,4 = 29,4 \text{ кг [} 288 \text{ н]}.$$

3) Условная нагрузка на подшипник Q_y .

Для радиальных подшипников, которые установлены в данной проводке (см. рис. 26 и 106), условная нагрузка Q_y определяется по формуле

$$Q_y = (R_p K_K + mA_p) K_G \cdot K_T,$$

здесь K_K — коэффициент, учитывающий влияние характера нагрузки на срок службы подшипника,

K_T — коэффициент, учитывающий влияние на срок службы подшипника температурного режима работы,

K_G — коэффициент, учитывающий зависимость срока службы подшипника от того, какое кольцо вращается относительно вектора нагрузки.

Для нагрузки, характеризуемой сильными ударами и кратковременными перегрузками до 300% от расчетной нагрузки $K_G = 2,7$.

Полагая, что рабочая температура подшипника не превышает 125° , принимаем $K_T = 1,05$.

Для подшипников, у которых вращается наружное кольцо, $K_K = 1,4$.

$$Q_y = (29,4 \cdot 1,4 + m \cdot 0) \cdot 2,7 \cdot 1,05 = 116 \text{ кг [} 1,14 \text{ кн]}.$$

4) Коэффициент работоспособности подшипника C .

Для принятых подшипников коэффициент работоспособности определяется по формуле

$$C = Q_y(nh)^{0,3}.$$

При стандартной долговечности подшипника $h = 5000$ ч получим

$$C = 116 (2900 \cdot 5000)^{0,3} = 116 \cdot 141 = 16400,$$

т. е. для заданных условий работы необходим подшипник коэффициент работоспособности которого имеет величину не менее 16400. Стандартный коэффициент долговечности подшипника 80201, принятого в данной конструкции, равен 7100. Следовательно, его долговечность будет ниже стандартной.

5) Долговечность принятого подшипника h' .

Долговечность подшипника может быть найдена из выражения

$$C = Q_y(nh')^{0,3};$$

$$7100 = 116 (2900 \cdot h')^{0,3}, \text{ откуда } h' = 307 \text{ ч.}$$

Такая стойкость подшипника примерно соответствует фактическим заводским данным, согласно которым в условиях завода стойкость подшипников составляет 20—40 омен.

Пружиение роликов

Консольное закрепление роликов в пластинчатых пружинах — роликодержателях вызывает некоторое пружинение роликов при прохождении через проводку удерживаемого раската. Для нормальной работы проводки необходимо, чтобы радиальное отклонение ролика вследствие изгиба роликодержателя f не превышало допустимый зазор Δ , обусловленный начальным поворотом сечения, т. е.

$$f < \Delta.$$

Рассматривая роликодержатель как консоль равного сечения ($10,5 \times 50$) мм с пролетом $l = 92,5$ мм (рис. 26), определим прогиб f от действия силы

$$P = R'_p \div R_1 = 13 \div 23,4 = 36,4 \text{ кг} [357 \text{ н}];$$

$$f = -\frac{Pl^3}{3EJ};$$

$$I = \frac{hb^3}{12} = \frac{5 \cdot 1,05^3}{12} = 0,482 \text{ см}^3;$$

$$f = -\frac{36,4 \cdot 9,25^3}{3 \cdot 2 \cdot 10^6 \cdot 0,482} = 0,9 \cdot 10^{-2} \text{ см} = 0,09 \text{ мм.}$$

Поскольку $f = 0,09 < \Delta = 0,19$ жесткость роликодержателей подобрана правильно, и настройку роликов можно производить так, чтобы зазор (на одну сторону) между раскатом и роликом составлял примерно 0,1 мм.

Аналогичным методом могут быть рассчитаны и иные конструкции роликовой арматуры.

ЛИТЕРАТУРА

- Hoffman Wade F. Rolling Mill Guides. Iron and Steel Engineer, 1945, vol. 23, № 11, November, p. 69—79.
- Чекмарев А. П., Майзлин Ю. Ш. Автоматические обводные аппараты прокатных станов. Изд. АН УССР, 1952.
- Павлов И. М. Современные проблемы прокатки, Сб. «Проблемы металлургии». Изд. АН СССР, 1953.
- Тафель В. Прокатка и калибровка (пер. с англ.), изд. 2, ОНТИ НКТП, 1931.
- New Rod Mill Steps Up Output with High-Speed Twist Guides. Iron Age, 1959, August 13, v. 184, p. 94—95.
- Kalpers. Rollenführungen in Walzwerke, Draht, 1958, März, № 3, S. 83—84.
- Titanium Carbide Rod Mill Guides Give Improved Rod Production. Iron and Steel Engineer, 1954, vol. 31, № 3, p. 121—122.
- Целников А. И. Прокатные станы. Металлургиздат, 1946.
- Camp I. M., Francis C. B. The Making, Shaping and Treating of Steel, 1951, United States Steel Company, Pittsburgh, Pa, p. 717.
- Миренский М. Л. Работа на мелкосортном прокатном стане. Металлургиздат, 1957, стр. 108—120.
- Тришевский И. С. Проводки прокатных станов. Металлургиздат, 1957.
- Fischer E. Walzarmaturen, VEB Verlag Technik, Berlin, 1958.
- Грицук Н. Ф., Приходько И. Ф., Федин В. П. Некоторые вопросы конструирования проводковой арматуры для сортопрокатных станов. Советская и зарубежная техника (прокатное оборудование), 4, ЦБНТИ Тяжмаш, 1959, стр. 58—83.
- Некрасов С. Г. Расчет и конструирование калибров роликов для роликовых пропусков. Прокатное и трубное производство. Приложение к журналу «Сталь». Металлургиздат, 1959, стр. 64—71.
- Литовченко Н. В., Диомидов Б. Б. Новая кантующая арматура для станов непрерывной прокатки. Сборник трудов Московского вечернего металлургического института, 1957, вып. II, стр. 102—115.
- Ховрин Б. В., Гетманец В. В. Рациональная валковая арматура непрерывных сортовых станов. Металлург, 1959, № 4, стр. 26—29.
- Meeting of Junior Engineers, 1955, Discussion on the Paper—Guides and Strippers for Modern Rod and Bar Mills. F. Starkey, Journal of the Iron and Steel Institute, 1956, v. 182, part 4, April, p. 390—393.
- Lambert C. S. Roller Guides in Modern Merchant Mill Practice. Iron and Steel Engineer, 1951, vol. 28, № 2, February, p. 79—89 [пер. см. Бюллетень ЦНИИ ЧМ, 1951, № 49 (183) стр. 22—30].
- Чекмарев А. П., Юдович С. З. Применение обводных аппаратов при прокатке легированной стали. Сталь, 1956, № 7, стр. 609—614.
- Starkey F. Guides and Strippers for Modern Rod and Bar Mills, Journal of the Iron and Steel Institute, 1955, v. 179, part 1, January, p. 58—75.
- Ширванян А. С. Опыт применения коробок с роликовыми пропускками. Металлург, 1956, № 4, стр. 37—38.
- Мишаев А. Ф., Лебедянцева Н. П. Усовершенствование пропусков для сортового проката. Сталь, 1955, № 2.
- Norlindh S. Erik M., New Swedish Mill (Designs and Layonts for Medium and Small Sections and Wire Rod), Journal of the Iron and Steel Institute, 1954, v. 176, part 4, April, p. 391—405 [Пер. см. Проблемы современной металлургии, 1955, № 1 (19), стр. 123—132].
- Norlindh S. Erik M., New Swedish Mill (Designs and Layonts for Medium and Small Sections and Wire Rod), Iron and Steel, 1954, v. 27, № 7, June, p. 284—292, 332—338.
- Norlindh Erik, Swedish type repeater mills for high quality steels, Iron and Steel Engineer, 1960, v. 37, № 4, April, p. 77—110.

26. Литовченко Н. В. Применение роликовых проволок на сортопрокатных станах. *Металлург*, 1956, № 2, стр. 12—15.
27. Dahl Theodor, *Neuzeitliche Drahtstraßen und ihre Walzenlagerung*. Stahl und Eisen, 1950 (70), № 13, Juni, S. 543—552.
28. Norlindh Erik M., *Neuartige schwedische Mittelstahl-, Feinstahl- und Drahtwalzwerke*. Stahl und Eisen, 1955, (75), № 11, Juni, S. 700—709.
29. Dahl Theodor, *Von ausländischen, besonders schwedischen Stabstahl und Drahtstraßen*. Stahl und Eisen, 1952 (72), № 11, Mai, S. 605—611.
30. Decowski Edward, *Przepustnice i oprowadnice*. *Wiadomości Hutnicze*, 1957, № 10, стр. 299—309.
31. Ектов И. М., Минаев А. Ф., Волобуев В. И., Филиппов И. Н. Модернизация мелкосортного стана 250. *Сталь*, 1955, № 2.
32. Кошеленко А. М. Роликовые пропуски для прокатки круглых профилей. *Бюллетень ЦИИИ ЧМ*, 1955, № 4 (264).
33. Самогесов Н. В., Рацевич Л. Р. Автоматическая зажимная коробка пропусков. *Металлург*, 1958, № 6, стр. 25—27.
34. Максимов Б. М., Жетвин Н. П., Иванов А. А., Бабков Г. В. Роликовые пропуски на проволочном стане 250. *Металлург*, 1958, № 5, стр. 28—30.
35. Хофф Х., Даль Т. Прокатка и калибровка (пер. с нем.). *Металлургиздат*, 1957.
36. Федин В. П., Приходько И. Ф. Проводковая арматура современных сортовых и проволочных станов. *Советская и зарубежная техника (прокатное оборудование)*. 1, ЦБНТИТяжмаш, 1959, стр. 84—134.
37. Чекмарев А. П., Чернобривенко Ю. С. Роликовая проводковая арматура прокатных станов. *Труды УкрНТО ЧМ*, т. XI, 1958.
38. Федин В. П., Приходько И. Ф., Грицук Н. Ф. О направлениях развития проводковой арматуры. *Металлург*, 1960, № 3, стр. 17—22.
39. Штернов М. М., Грицук Н. Ф. Новые конструкции роликовой валковой арматуры. *Металлург*, 1958, № 1, стр. 23—28.
40. Грицук Н. Ф., Полушкин В. П. Роликовая вальцовая арматура для прокатки круглой стали. *Сталь*, 1960, № 4, стр. 338—342.
41. Тришевский И. С., Клепанда В. В. Применение на проволочных станах роликовых пропусков. *Бюллетень технико-экономической информации ВИНТИ*, 1958, № 9, стр. 15—18.
42. *Rolling Mill Guides; some of the types employed and Purposes which they are designed* (Courtesy of «Iron and Steel Engineer»). *Iron and Coal Trades Review*, 1946, v. 152, № 4077/, April, p. 703—707.
43. Wusatowski Roman, *Nowoczesne metody walcowania pretow pąty i sruby*. *Wiadomości Hutnicze*, 1955, II, № 1.
44. Кожевников В. П., Бахтинов Б. П., Меркин С. В., Штернов М. М., Грицук Н. Ф. Кантовальные валки непрерывно-заготовочных станов. *Сталь*, 1955, № 1.
45. *Discussion on the Paper-Manipulating Equipment, Guides Guards and Strippers for Rolling Mills*. *Journal of the Iron and Steel Institute*, 1954, June, v. 177, part 2, p.249—255.
46. Меркин С. В. Выступление в прениях на Всесоюзном совещании прокатчиков. *Труды НТО ЧМ*, т. 10. *Металлургиздат*, 1956, стр. 477—479.
47. Меркин С. В. Кантовальные валки для непрерывно-заготовочных станов. *Бюллетень ЦИИИ ЧМ*, 1954, № 14 (250), стр. 24—25.
48. Klasterká, *Nhranení vuvalku při valcování a používání vertikálních stolic*. *Hutník*, 1959, IX, № 6, стр. 199—204.
49. Тулулов А. А., Цуй Фунь. Кантовальные валки для непрерывно-заготовочных станов. *Металлург*, 1957, № 8, стр. 30—32.
50. Тришевский И. С. Рационализация валковой арматуры прокатных станов. *Труды НТО ЧМ*, т. 10. *Металлургиздат*, 1956, стр. 428—445.
51. Отчет о работе межзаводской школы по прокатной арматуре и обводным аппаратам. Рукопись. Украинский научно-исследовательский институт металлов, Харьков, 1959.
52. Быстров Б. М. Итоги работы межзаводской школы по сортопрокатным станам заводов Главспецстали. *Металлург*, 1956, № 4, стр. 35—37.
53. Чекмарев А. П., Юдович С. З., Травинин В. И. Обводные аппараты на мелкосортных станах. *Металлург*, 1956, № 11.
54. Решения Всесоюзного совещания прокатчиков (21—25 апреля 1955 г., г. Магнитогорск). *Труды НТО ЧМ*, т. 10. *Металлургиздат*, 1956, стр. 620.
55. Шуралев М. В., Карякин П. И. Применение роликовых пропусков при прокатке крупных профилей. *Сталь*, 1957, № 6, стр. 548—549.
56. Приходько И. Ф., Федин В. П., Иванов Ю. Г. Износостойчивые материалы для изготовления роликов валковой арматуры. *Металлург*, 1960, № 8, стр. 27—31.
57. Проводки со вставками из карбида титана. *Бюллетень ЦИИИ ЧМ*, 1955, № 8, (268), стр. 30.
58. Тылькин М. А. Изготовление хромированных пропусков прокатных станов. *Металлург*, 1958, № 2, стр. 27—28.
59. Тришевский И. С., Клепанда В. В., Орлов А. В. Высокоустойчивые вставки для пропусков проволочных станов. *Сталь*, 1959, № 4, стр. 342—344.
60. Carbide Guide Rollers, *Iron and Steel Engineer*, 1960, v. 37, № 2, p. 203.
61. Многоручьева коробка для пропусков чистой линии проволочно-петлевого стана. *Бюллетень ЦИИИ ЧМ*, 1953, № 12 (224).
62. Тулянкин П. П. Опыт применения многоместных коробок. *Металлург*, 1956, № 4, стр. 38—40.
63. Протасов Н. Ф., Хлебников В. П., Сикорский А. И., Гончар В. В., Стефанов В. Е., Болдырев Л. И. Усовершенствованные арматуры обжимного стана крупносортного цеха. *Металлург*, 1958, № 10, стр. 25—29.
64. Дрозд В. Г., Тительбаум П. И., Приходько И. Ф. Арматура качества прокатных станов. *Металлург*, № 11, 1961, стр. 22—25.
65. Надаи А. Пластичность. ОИТИ НКТП, 1936.
66. Перлин И. Л. К теории определения истинных и средних значений сопротивления пластическому деформированию. *Труды НТО ЧМ*, т. VI. *Металлургиздат*, 1955.
67. Губкин С. И. Критика существующих методов расчета рабочих напряжений при обработке металлов давлением, Инженерные методы расчета технологических процессов обработки металлов давлением, кн. 42. *Машгиз*, 1957, стр. 34—46.
68. Риднер З. А., Чекмарев А. П. Влияние температуры, скорости и степени деформации на сопротивление пластическому деформированию углеродистых сталей. *Изв. АН СССР, ОТН*, № 12, 1957.
69. Динник А. А. Истинные пределы текучести стали при горячей прокатке. Теория прокатки (Материалы конференции по теоретическим вопросам прокатки). *Металлургиздат*, 1962, стр. 157—173.
70. Кузнецов А. П. Кручение неоднородных пластических стержней. *Изв. АН СССР, ОТН*, 1958, № 11, стр. 110—113.
71. Мошин Е. П., Бережковский Д. И. Сопротивление стали деформации при растяжении, сжатии, изгибе и кручении, Инженерные методы расчета технологических процессов обработки металлов давлением, кн. 42. *Машгиз*, 1957, стр. 197—206.
72. Бровман М. Я., Шлигельман Р. М. Кантовка металла при прокатке на непрерывно-заготовочных станах. Прокатное и трубное производство. Приложение к журналу «Сталь». *Металлургиздат*, 1958, стр. 137—146.
73. Качанов Л. М. Основы теории пластичности. *Гостехтеоретиздат*, 1956.
74. Тимошенко С. П. Теория упругости. *ОНТИ*, 1937.
75. Соколовский В. В. Теория пластичности. *Гостехтеоретиздат*, 1950.
76. Бронштейн И. Н., Семендяев К. И. *Справочник по математике*, изд. 7. *Гостехтеоретиздат*, 1957.
77. Крылов А. Н. *Лекции о приближенных вычислениях*. *Гостехтеоретиздат*, 1954.

78. Беляев Н. М. Сопротивление материалов. Гостехтеоретиздат, 1953.
 79. Ратнер С. И. Прочность и пластичность металлов. Оборонгиз, 1949.
 80. Кишкин С. Т. Карбидная теория упрочнения стали. Повышение прочности деталей машин, (Труды совещания по методам повышения прочности деталей машин). Изд. АН СССР, 1949, стр. 35—45.
 81. Шофман Л. А. Элементы теории холодной штамповки. Оборонгиз, 1952.
 82. Пономарев С. Д. и др. Расчеты на прочность в машиностроении. Машгиз, 1956.
 83. Михайличенко Н. Г. Способ определения механических характеристик металла образца при кручении. Заводская лаборатория, 1957, 1, стр. 83—87.
 84. Борздыка А. М. Методы горячих механических испытаний металлов. Metallurgizdat, 1955.
 85. Суворов И. К. Определение усилий при кантовании раскатов на непрерывных станах. Научные доклады высшей школы. Metallurgiya, 1958, № 4, стр. 134—140.
 86. Чекмарев А. П., Мелешко В. И. Рациональная калибровка для прокатки кругов на мелкосортных станах. Труды Института черной металлургии АН УССР, т. 10. Прокатное производство, Изд. АН УССР, 1956, стр. 44—63.
 87. Гуревич А. Е., Рокотян Е. С. Методы исследования прокатных станов. Metallurgizdat, 1957, стр. 93.
 88. Туричин А. М. Электрические измерения неэлектрических величин. Госэнергоиздат, 1954.
 89. Длин А. М. Математическая статистика в технике. Изд. «Советская наука», 1958.
 90. Gassner Harold, Economics Effected in Roller Guide Applications. Iron and Steel Engineer, 1953, v. 30, № 9, September, p. 192—194.
 91. Каталог. Подшипники шариковые и роликовые. Союзподшипниксбыт, М.
 92. Терентьев С. Г. Опыт работы сортопрокатных станов металлургического завода «Красный Октябрь». Труды НТО ЧМ, т. 10. Metallurgizdat, 1956, стр. 410—419.
 93. Ховрип Б. В., Гетманец В. В. Работа привалковой арматуры сортовых станов. Metallurg, 1960, № 10, стр. 27—30.
 94. Приходько И. Ф., Федин В. П., Грицук Н. Ф. Роликовая арматура сортовых станов. Труды ВНИИМЕТМАШ, сборник № 2, 1961, стр. 5—166.
 95. Klasterka J. Upevnovani valcovaci armatury, Hutnik, 1959, № 5, стр. 175—177.
 96. Ермолаев В. А., Кузнецова В. Я. Эффективность роликовых проводок. Сборник трудов Московского вечернего металлургического института, вып. 1, 1955, стр. 113—117.
 97. Роликовые проводки для сортовых и проволочных станов, Stahl und Eisen, 1960, № 5, S.: W 478a. (см. также Бюллетень ЦНИИ ЧМ, 1961, № 7).
 98. Kummer Ernst. Rollen als Feinstahl- und Drahtwalzwerken, Draht, 1961, № 1, S. 13—15. (см. также Экспресс-информация, Прокатка и прокатное оборудование, 1961, № 15, реф. 96).
 99. Зуев М. М. и др. Пластичность стали при высоких температурах. Metallurgizdat, 1956.
 100. Чернобривенко Ю. С. Применение стеллита для наварки роликов проводковой арматуры прокатных станов, Бюллетень технической информации, Изд. Днепропетровского обл. отделения Общ. по распространению политич. и научных знаний УССР и УкрНТО ЧМ, 1958, № 6, стр. 24—25.
 101. Худяк В. Т., Манусов П. М. Опыт настройки роликовых коробок. Metallurg, 1962, № 9, стр. 22—24.
 102. Победин И. С., Дрозд В. Г. Производство сортовой стали. Metallurgizdat, 1962.

ЗАМЕЧЕННЫЕ ОПЕЧАТКИ

Стр.	Строка	Напечатано	Должно быть	По чьей вине
94	Табл. 4, графа 6	$\begin{array}{r} 52 < 90 \\ 56 < 59 \\ 34 < 76 \\ 51 < 40 \\ 26 < 60 \\ 42 < 32 \end{array}$	$\begin{array}{r} 52 < 90 \\ 56 < 59 \\ 34 < 76 \\ 51 < 40 \\ 26 < 60 \\ 42 < 32 \end{array}$	Ред.
94	4 стр.	$\mu_i = 1,28$	$\mu_c = 1,28$	»
95	Табл. 5, графа 6	$\begin{array}{r} 75 < 82 \\ 52 < 90 \\ 56 < 59 \\ 34,5 < 76 \\ 60 < 37 \\ 16 < 70 \end{array}$	$\begin{array}{r} 75 < 82 \\ 52 < 90 \\ 56 < 59 \\ 34,5 < 76 \\ 60 < 37 \\ 16 < 70 \end{array}$	Кор.
100	Табл. 7, графа 3	Первая средняя группа клетей	Первая средняя группа клетей	Ред.
		$\begin{array}{r} 10,7 < 25 \\ 15,9 < 15,7 \\ 8,5 < 19 \\ 12,9 < 12 \end{array}$	$\begin{array}{r} 10,7 < 25 \\ 15,9 < 15,7 \\ 8,5 < 19 \\ 12,9 < 12 \end{array}$	
156	5 св.	$V = 4 \int_0^{a_1} dx \int_{(R-b)}^{R} dy \int_{\frac{h}{R} \sqrt{x^2+y^2}}^h dz$	$V = 4 \int_0^{a_1} dx \int_{(R-b)}^{R} dy \int_{\frac{h}{R} \sqrt{x^2+y^2}}^h dz$	Тип.
156	4 стр.	$\sin \times \frac{R-b}{R} +$	$\sin \frac{R-b}{R} +$	Ред.
158	8 стр.	$= \frac{\iint dx dy}{s}$	$= \frac{\iint \gamma dx dy}{s}$	Тип.
158	7 стр.	$\gamma = f_{\gamma}(x, y)$	$\gamma = \gamma(x, y)$	Ред.
161	13, 14 св.	$\begin{array}{l} + f(x_1; y_k) + \\ + f(x_2; y_1) + \end{array}$	$\begin{array}{l} + f(x_1; y_k) + \\ + f(x_2; y_1) + \end{array}$	»
164	9 св.	Скорость деформации γ	Скорость деформации $\dot{\gamma}$	»
171	8 св.	$\gamma = 7 \frac{1}{сек}$	$\dot{\gamma} = 7 \frac{1}{сек}$	»