

Э. Р. ШОР

НОВЫЕ ПРОЦЕССЫ ПРОКАТКИ



ГОСУДАРСТВЕННОЕ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
ЛИТЕРАТУРЫ ПО ЧЕРНОЙ И ЦВЕТНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ
Москва 1960

АННОТАЦИЯ

В книге рассмотрены новые технологические процессы продольной и поперечной холодной и горячей прокатки. Дано описание процессов прокатки листов и профилей переменного сечения; поперечной прокатки сплошных и полых профилей периодического сечения на трехвалковых станах и на станах, валки которых имеют калибры, нарезанные по винтовой линии; процессов прокатки цилиндрических и конических зубчатых колес, крупных резьб, ребристых труб и других готовых изделий и полуфабрикатов.

Приведены элементы теории этих процессов прокатки, расчеты силовых параметров, оборудования и производительности новых прокатных станов, методы их исследования, сортамент и свойства выпускаемой продукции, а также технико-экономические показатели, позволяющие рекомендовать эти процессы для широкого внедрения в промышленность.

Книга предназначена для инженеров-металлургов, механиков и конструкторов, работающих в области производства и применения экономичных профилей проката и проектирования новых прокатных станов; она может быть также использована студентами вузов и техникумов.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	5
-------------------	---

ЧАСТЬ ПЕРВАЯ

ПРОДОЛЬНАЯ ПРОКАТКА ЛИСТОВ И ПРОФИЛЕЙ ПЕРЕМЕННОГО СЕЧЕНИЯ

Глава I.	Прокатка листов переменного сечения	9
	1. Принципиальные особенности процесса прокатки листов переменного сечения	12
	2. Опытно-промышленный стан для прокатки листов переменного сечения	17
	3. Освоение опытно-промышленного стана и технологического процесса прокатки листов переменного сечения	19
	4. Устройство для автоматической задачи листов в валки	38
Глава II.	Экспериментальное исследование стана для прокатки листов переменного сечения	41
	1. Измерительная аппаратура	41
	2. Определение давления металла на валки	48
	3. Влияние упругой деформации деталей рабочей клетки на точность размеров листов переменного сечения	58
	4. Определение скорости вращения электродвигателя нажимного устройства с учетом упругой деформации деталей рабочей клетки	65
Глава III.	Прокатка листов переменного сечения с натяжением	70
	1. Натяжное устройство	70
	2. Исследование процесса прокатки клиновидных листов с натяжением	77
Глава IV.	Нагартовка листов переменного сечения	84
	1. Пневмогидравлическое устройство для нагартовки	84
	2. Технологический процесс нагартовки	90
Глава V.	О промышленном стане для прокатки широких листов переменного сечения	97
Глава VI.	Электрооборудование и общая характеристика станов для прокатки листов переменного сечения	119
	1. Главный привод стана	119
	2. Привод механизма для установки верхнего вала	133
	3. Привод натяжного устройства	153

4. Характеристика и сортамент станов для прокатки листов переменного сечения	162
Глава VII. Прокатка-волочение тавровых профилей переменного сечения	167
1. Конструкция рабочих клеток	170
2. Электрическая схема управления нажимным механизмом стана	173
3. Экспериментальное исследование и освоение прокатки-волочения тавровых профилей переменного сечения	177
4. Технологический процесс прокатки-волочения профилей переменного сечения	188
ЧАСТЬ ВТОРАЯ	
ПОПЕРЕЧНАЯ ПРОКАТКА ПРОФИЛЕЙ ПЕРИОДИЧЕСКОГО СЕЧЕНИЯ	
Глава I. Прокатка периодических профилей круглого сечения	194
1. Процесс прокатки периодических профилей на трехвалковом стане	194
2. Элементы теории процесса поперечно-винтовой прокатки на трехвалковом стане	204
3. Промышленные трехвалковые станы для поперечно-винтовой прокатки круглых периодических профилей	215
4. Механические свойства и структура металла, подвергнутого поперечно-винтовой прокатке. Точность прокатки ..	233
5. Техничко-экономические показатели процесса поперечно-винтовой прокатки	237
Глава II. Прокатка профилей в винтовых калибрах	249
1. Схема процесса прокатки в винтовых калибрах	249
2. Элементы теории процесса	252
3. Прокатка шаров и цилиндрических изделий	263
4. Электрооборудование станов для прокатки шаров	285
Глава III. Прокатка зубчатых колес и подобных им изделий	290
1. Прокатка цилиндрических зубчатых колес	298
2. Электрооборудование станов для прокатки цилиндрических зубчатых колес	332
3. Прокатка конических шестерен	344
4. Поперечная накатка крупной резьбы	352
5. Прокатка ребристых труб	371
Литература	382

ПРЕДИСЛОВИЕ

В книге рассмотрен ряд новых процессов холодной и горячей прокатки, в основе которых лежит принцип приближения формы прокатанного полуфабриката к конфигурации готовых профилей, что позволяет применять эти процессы для получения окончательно готовых изделий, не подвергающихся в последующем, перед установкой в машину или конструкцию, каким-либо дополнительным операциям обработки резанием.

К полуфабрикатам такого вида относятся листы и профили переменного сечения, применяемые для изготовления равнопрочных конструкций и подвергающиеся после прокатки лишь незначительной обработке, главным образом раскрою и гнутью; заготовки под горячую штамповку и круглые профили периодически изменяющегося сечения, изготавливаемые на трехвалковых станах поперечно-винтовой прокатки; цилиндрические и конические зубчатые шестерни, получаемые на станах специальной конструкции путем горячей и холодной прокатки; шары и тела цилиндрической формы, используемые для размола различных твердых веществ, изготавливаемые на станах поперечной прокатки в калибрах, нарезанных по винтовой линии; ребристые трубы для теплообменных аппаратов и другие подобные изделия.

Новые процессы прокатки значительно более экономичны, чем методы получения таких изделий обработкой резанием. При обработке резанием почти 50% качественного металла перерабатывается в стружку и при этом получается значительный брак. Кроме того, процесс резания очень трудоемкий и мало эффективный по сравнению с обработкой металлов давлением.

В некоторых случаях с помощью новых процессов прокатки получают полуфабрикаты, которые до сих пор не представлялось возможным изготовлять путем обработки резанием в массовом количестве и достаточно высокого качества (длинные тавровые профили переменного сечения, тонкостенные ребристые трубы, широкие и тонкие листы переменного сечения и др.).

Следует отметить также, что новые процессы прокатки почти полностью автоматизированы или легко поддаются автоматизации, что также является одним из существенных их преимуществ.

шеств. Благодаря своим преимуществам эти процессы в ближайшее время получат широкое распространение в черной и цветной металлургии, а также в машиностроительной промышленности.

Решениями XXI съезда КПСС предусмотрено расширение производства экономичных профилей проката. Внедрение новых оригинальных процессов прокатки, впервые разработанных и освоенных в Советском Союзе, будет способствовать успешному выполнению этой задачи.

В книге приведено теоретическое обоснование некоторых технологических процессов прокатки новых видов полуфабрикатов и описан ряд конструкций специальных станов, разработанных в последние годы, главным образом в ВНИИМЕТМАШ. Автор не ставил перед собой задачу осветить все существующие новые процессы прокатки. Однако ему представляется, что объединение в настоящей книге ряда специальных процессов прокатки экономичных профилей и полуфабрикатов будет полезным для широкой инженерной общественности и для студентов вузов и техникумов, изучающих новые процессы и машины для обработки металлов давлением.

В книге использованы материалы, разработанные под руководством чл.-корр. АН СССР А. И. Целикова сотрудниками ВНИИМЕТМАШ: автором настоящей книги и кандидатами технических наук С. П. Грановским, М. А. Сонькиным, Н. Н. Дружининым; инженерами А. Е. Гуревичем, А. А. Сарычевым, А. М. Когосом, В. Л. Добкиным, Н. В. Меховым, В. И. Ефановым и Б. Н. Козловым (прокатка листов и тавровых профилей переменного сечения, прокатка шаров и других профилей в винтовых калибрах); кандидатами технических наук А. Д. Кузьминым, М. В. Васильчиковым, М. В. Барбаричем и инженерами Ф. П. Кирпичниковым, Л. Д. Взнуздаевым и другими (прокатка цилиндрических и конических зубчатых колес, накатка крупной резьбы и прокатка ребристых труб); кандидатами технических наук В. П. Анисифоровым, Г. А. Лившицем, И. И. Казанской, В. А. Жаворонковым и инж. Е. А. Жукевич-Стоша (прокатка периодических профилей переменного сечения на трехвалковых станах).

Материалы в большинстве случаев переработаны автором в соответствии с планом настоящей книги. Ряд отдельных глав или разделов в книге написан кандидатами технических наук С. П. Грановским (гл. II, часть вторая) и М. А. Сонькиным (раздел 4 в гл. II и III, часть вторая) и инженером ГПИ Тяжпромэлектропроект Я. Ю. Солодухо при участии автора (гл. VI, часть первая). Главы I, II, III и IV (часть первая) написаны Э. Р. Шором совместно с С. П. Грановским и Б. Н. Козловым.

В книге использованы также материалы из некоторых работ,

опубликованных главным образом в периодической и малотиражной литературе. Эти материалы были включены в книгу для того, чтобы ими могли воспользоваться студенты вузов и техникумов при изучении специальных курсов прокатки и при выполнении дипломных проектов.

Автор приносит глубокую признательность чл.-корр. АН СССР А. И. Целикову за помощь и содействие в создании настоящего труда, а также выражает благодарность руководству ВНИИМЕТМАШ за содействие в выполнении работы и сотрудникам института, чьи труды были использованы автором при написании данной книги.

Автор выражает благодарность проф. докт. техн. наук П. И. Полухину — рецензенту рукописи, внесшему ценные замечания при подготовке рукописи к печати.

ПРОДОЛЬНАЯ ПРОКАТКА ЛИСТОВ И ПРОФИЛЕЙ ПЕРЕМЕННОГО СЕЧЕНИЯ

Глава I

ПРОКАТКА ЛИСТОВ ПЕРЕМЕННОГО СЕЧЕНИЯ

Во многих областях техники при изготовлении силовых элементов и деталей различных машин и конструкций целесообразно применять равнопрочные профили, площадь сечения которых изменяется по длине изделия в зависимости от изменения расчетной нагрузки, испытываемой данной деталью.

Применение равнопрочных балок, клиновидных листов, полос и других полуфабрикатов переменного сечения позволит снизить вес машин и уменьшить расход металла на их изготовление при сохранении требуемой прочности.

Таким образом, одним из весьма важных направлений в снижении удельного расхода металла является наибольшее приближение формы прокатываемого профиля к готовому изделию при целесообразном распределении и использовании металла в самом профиле.

Равнопрочные профили, полосы и листы переменного сечения могут найти широкое применение в транспортном машиностроении и в особенности в тех отраслях техники, где максимальное снижение веса детали (при сохранении прочности конструкции) является важнейшим фактором при оценке машины. В других областях народного хозяйства равнопрочные профили переменного сечения также должны получить широкое распространение. Так, например, при использовании экономичных профилей проката можно будет получить снижение веса мостовых и крановых конструкций, строительных ферм и балок, оборудования для бурения нефтяных скважин сельскохозяйственных машин и орудий, ж.-д. вагонов, грузовых автомашин и т. п., что обеспечит экономию значительного количества металла, уменьшит стоимость изготовления и эксплуатации этих машин и конструкций.

Профили переменного сечения производили штамповкой на мощных прессах, обработкой на специальных фрезерных и строгальных станках или последовательным соединением — сваркой и склепыванием нескольких полос постоянного сечения, но раз-

личной толщины. В некоторых случаях для этой цели применяли специальное травление металлических полос в концентрированных растворах щелочей и кислот.

Эти способы изготовления равнопрочных профилей обладают рядом существенных недостатков.

1. В связи с большой длиной обрабатываемых профилей (3—5 м и более) приходится применять дорогостоящие, сложные и относительно малопроизводительные прессы и металлорежущие станки, требующие большого количества весьма квалифицированного обслуживающего персонала.

2. Ухудшаются механические свойства металла при обработке его снятием стружки или путем травления, так как снимается поверхностный слой проката, обладающий более высокой прочностью, чем средние слои металла, в большей степени загрязненные примесями. Кроме того, при такой обработке происходит перерезывание волокон металла, что снижает также прочность профиля. Следует отметить, что изготовление плакированных¹ листов из легких сплавов, имеющих наиболее широкое применение в ряде отраслей машиностроения, указанными способами невозможно.

3. При механической обработке получают большие отходы в стружку, составляющие 40—50% от веса исходного материала, что значительно повышает себестоимость готовой продукции. Это обстоятельство усугубляется тем, что для равнопрочных профилей применяются сравнительно дорогие специальные сплавы и стали.

4. Конструкция и размеры прессового и станочного оборудования ограничивают сортамент необходимых для промышленности профилей переменного сечения. Так, например, этим способом нельзя получить широкие (более 1,5 м) листы с изменяющейся по их длине толщиной, длинные клиновидные листы и полосы с толщиной тонкого конца 1 мм и менее и т. д.

5. Полосы переменного сечения, изготавливаемые из нескольких полос постоянного сечения (различной толщины) путем сварки или клепки, получают ступенчатыми, т. е. не полностью равнопрочными. Кроме того, наличие заклепочных соединений, стыков и переходов вызывает концентрацию напряжений в этих участках профилей и понижает прочность изделий.

Во ВНИИМЕТМАШ под руководством чл.-корр. АН СССР А. И. Целикова был разработан ряд новых прогрессивных способов производства равнопрочных профилей, полос и листов путем обработки давлением, в частности специальными методами прокатки и волочения².

¹ Листы, покрытые слоем чистого алюминия для защиты от коррозии.

² В разработке и освоении процессов прокатки листов и тавровых профилей переменного сечения, кроме автора настоящей книги и изобретателей

Особенность новых методов производства полуфабрикатов переменного сечения заключается в непрерывном изменении, в течение процесса прокатки, расстояния между осями рабочих валков прокатного стана.

Для осуществления этого простого по идее процесса потребовалось применение механизмов специальной конструкции, обеспечивающих гибкую и надежную связь между вращением рабочих валков и изменением расстояния между ними.

В течение последних десяти лет разработаны конструкции специальных прокатных станов для производства равнопрочных профилей и листов переменного сечения, освоена технология производства на этих станах полуфабрикатов переменного сечения, и такого рода полуфабрикаты внедрены в различные отрасли машиностроения.

В настоящее время в промышленности работают несколько прокатных станов, выпускающих листы и фасонные профили переменного сечения из легких сплавов и сталей специальных марок, используемых для изготовления равнопрочных конструкций. Еще более мощные прокатные станы могут быть спроектированы на основе опыта эксплуатации существующих станов и их всестороннего исследования.

Следует отметить, что производство равнопрочных профилей переменного сечения имеет последовательное научное и экспериментальное обоснование.

Опытные работы вначале были поставлены на небольших лабораторных прокатных станах (стан дуо 150 Московского института цветных металлов и золота им. Калинина — 1939 год и стан дуо 250 ВНИИМЕТМАШ — 1947 год), на которых был проверен и обоснован принцип прокатки равнопрочных профилей переменного сечения путем изменения расстояния между осями рабочих валков. Результаты исследований, проведенных на этих станах, в особенности на стане дуо 250 ВНИИМЕТМАШ, были положены в основу конструирования опытного промышленного стана дуо 900, установленного на одном из металлургических заводов.

Этих новых процессов (А. И. Целикова, Э. Р. Шора, Е. С. Рокотяна, А. Е. Гуревича и А. В. Кругликова) принимали непосредственное участие также канд. техн. наук С. П. Грановский и М. А. Сонькин, инженеры А. А. Сарычев, А. М. Когос, Б. Н. Козлов, В. Л. Добкин, Г. М. Зак, канд. техн. наук Н. Н. Дружинин и В. Ф. Калугин, инженер М. И. Рейфисов.

В освоении новых процессов прокатки листов и профилей переменного сечения и во внедрении их в машиностроительную промышленность принимали участие также инженеры А. Ф. Белов, канд. техн. наук В. А. Ливанов, В. Н. Степанов, инженеры А. Г. Брунов, И. Л. Головин и многие другие инженерно-технические работники машиностроительной и металлургической промышленности.

На стане дуо 900, оснащенном совершенной измерительной аппаратурой, был исследован и освоен в производственных условиях процесс прокатки и отделки листов переменного сечения из легких сплавов шириной до 800 мм. Использование этих листов в серийных транспортных машинах новых конструкций дало значительный технико-экономический эффект. Кроме того, на этом стане был исследован и освоен процесс прокатки клиновидных листов с натяжением и процесс нагартровки закаленных листов переменного сечения с целью повышения их прочности. Проведено также изучение давления металла на валки, возникающего при прокатке листов переменного сечения, а также определено влияние жесткости стана на геометрию прокатываемых листов. Эти исследования могут быть положены в основу разработки новых станов для прокатки широких листов переменного сечения.

Ниже приводится теоретическое обоснование процесса прокатки клиновидных листов и полос переменного сечения и рассматриваются результаты исследования прокатных станов, работающих по принципу непрерывного изменения расстояния между осями рабочих валков в процессе прокатки.

Дано также описание исследования процесса прокатки — волочения в неприводных валках, с помощью которого осуществлено промышленное производство равнопрочных тавровых профилей переменного сечения, и изложен опыт освоения прокатки таких профилей на стане, установленном на Московском металлургическом заводе «Серп и молот».

1. ПРИНЦИПИАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ПРОЦЕССА ПРОКАТКИ ЛИСТОВ ПЕРЕМЕННОГО СЕЧЕНИЯ

Под листом или профилем переменного сечения понимается металлический полуфабрикат, площадь сечения которого изменяется по его длине. Изменение площади поперечного сечения полуфабриката может происходить равномерно по закону прямой линии, по какому-либо заданному криволинейному закону или же периодически, т. е. ступенями.

Основная операция на новом прокатном стане — деформация металла между вращающимися валками — осуществляется при изготовлении листов переменного сечения путем непрерывного изменения расстояния между осями валков стана в процессе прохождения металла между ними (рис. 1).

В одной из первых конструкций стана для прокатки клиновидных полос переменного сечения — на стане дуо 150 — синхронизация окружной скорости обоих валков и скорости вертикального перемещения верхнего валка осуществлялась поступательным движением нажимных винтов, вращающихся от привода

рабочих валков через зубчатую передачу. Клиновидность прокатываемых листов регулировалась изменением передаточного числа зубчатой передачи. На стане были прокатаны полосы переменного сечения из стали и дюралюмина. Результаты измерения полос переменного сечения показали, что изменение толщины полосы по ее длине происходит по закону прямой линии.

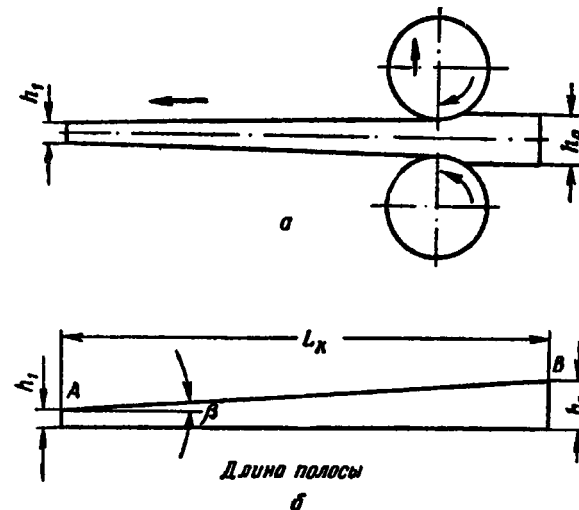


Рис. 1. Схема прокатки а и размеры листов переменного сечения б

Однако конструкция этого стана (для прокатки полос переменного сечения) имела весьма существенные недостатки, исключающие возможность применения его в качестве промышленного прокатного стана. Основным недостатком заключался в том, что синхронизация скорости вращения рабочих валков со скоростью вертикального перемещения верхнего валка при помощи механической связи нажимных винтов через зубчатую передачу не могла быть конструктивно осуществлена на крупных промышленных станах. Для такого стана понадобились бы громоздкие зубчатые передачи, в которых весьма трудно осуществлять смену промежуточных шестерен для прокатки листов с различной клиновидностью.

В дальнейшем проводили экспериментальные работы по холодной прокатке полос и уголков переменного сечения на новом специально сконструированном для этой цели двухвалковом стане 250 в лаборатории прокатки ВНИИМЕТМАШ.

Механическая синхронизирующая связь между скоростью вращения нажимных винтов и числом оборотов рабочих валков

стана была заменена на электрическую, осуществляемую нажимным устройством, приводимым двигателем постоянного тока, питающимся от генератора, установленного на одном валу с двигателем привода рабочих валков. Таким образом, изменение скорости двигателя рабочих валков во время прокатки автоматически сопровождается соответствующим изменением скорости двигателя нажимных винтов, причем отношение $\frac{n_n}{n_b}$ во время прокатки сохраняется постоянным.

(Здесь n_n — число оборотов нажимных винтов, n_b — число оборотов рабочих валков).

В результате проведенных на этом стане опытных работ выявилась полная пригодность электрической синхронизирующей связи.

Прокаткой были получены полосы переменного сечения из дюралюмина и стали шириной до 200 мм с клиновидностью от 0,5 до 2 мм/м вполне удовлетворительного качества как по механическим свойствам, так и по геометрическим размерам и качеству поверхности.

На основе успешного опыта эксплуатации этой установки в ЦКБММ ЦНИИТМАШ была разработана конструкция опытно-промышленного стана с длиной бочки валков 900 мм для прокатки листов переменного сечения из легких сплавов шириной до 800 мм.

Для этой цели был использован реверсивный двухвалковый стан с размером валков 500×900 мм, ранее применявшийся для прокатки полос постоянного сечения шириной до 800 мм и толщиной до 10 мм. На этом стане прокатка листов переменного сечения производится при непрерывном изменении расстояния между осями валков во время деформирования заготовки. Синхронизация между скоростью изменения расстояния между валками и скоростью прокатки осуществлена по электрической схеме, несколько видоизмененной по сравнению со схемой двухвалкового стана 250.

Общий вид стана дуо 900 показан на рис. 2.

С целью получения еще более широких листов переменного сечения, прокатка которых сопряжена с большим давлением металла на валки, следует применять станы кварто, имеющие мощное нажимное устройство и синхронизирующую электрическую связь скорости прокатки со скоростью изменения расстояния между рабочими валками. На таких станах можно получить листы переменного сечения более качественные в отношении отклонений от номинальных размеров, чем при прокатке на стане дуо. Прогиб валков, являющийся основной причиной, вызывающей изменение геометрических размеров прокатываемого листа, при прокатке на четырехвалковых станах значительно меньше, чем

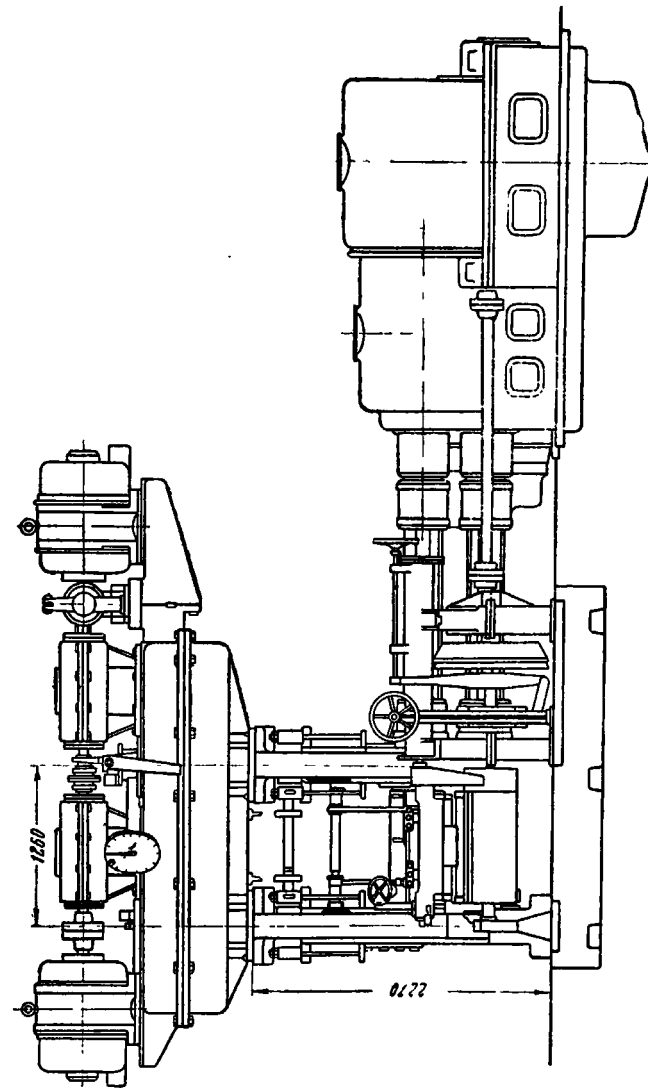


Рис. 2. Опытно-промышленный стан дуо 900 для прокатки листов переменного сечения

при прокатке на двухвалковых. В процессе прокатки изменяется общее давление металла на валки; это вызывает изменение их прогиба, что влияет на качество и точность прокатываемых листов. Поэтому уменьшение прогиба валков весьма важно при прокатке листов переменного сечения.

Принципиальный характер изменения прогиба рабочих валков при прокатке листов переменного сечения и его влияние на качество выкатки листов можно пояснить рассмотрением схемы процесса прокатки, представленной на рис. 3. На этой схеме по-

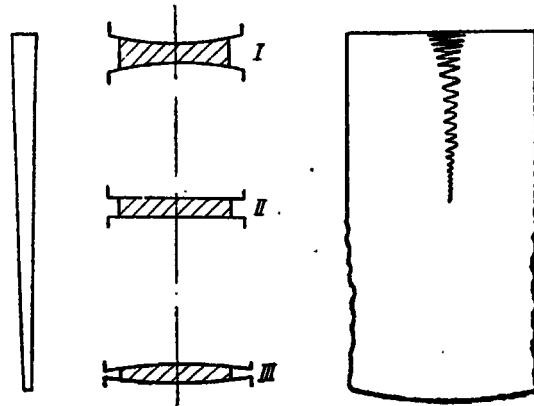


Рис. 3. Схема прогиба валков

казаны три различные стадии (I, II и III) процесса прокатки одного и того же листа переменного сечения, при которых изменяется общее давление металла на валки в связи с изменением степени обжатия металла. Такое неравномерное обжатие вызывает образование более тонкой средней части листа по сравнению с его кромками на одной части прокатываемого листа, а в другой части листа (при увеличении обжатия до максимальной величины) образование более тонких кромок по сравнению с толстой серединой листа.

Однако, как показали последующие исследования процесса, оказалось возможным получать листы весьма высокого качества, укладываемые в допуск по толщине $\pm 0,2$ мм и имеющие отставание от плоской плиты в любой точке листа, не превышающее 20 мм, что соответствует весьма жестким требованиям, предъявляемым ответственными машиностроительными конструкторами.

Следует также отметить, что в отдельных станах для прокатки листов и полос переменного сечения в качестве привода на-

жимного устройства применяют объемную бесступенчатую гидрорепердачу, обеспечивающую плавное изменение передаточного числа в достаточно широких пределах.

В частности, такой стан дуо с диаметром валков 600 мм и длиной бочки 1200 мм работает на одном из отечественных металлургических заводов.

На рис. 4 приведена схема установки гидропривода для нажимного устройства этого стана. Стан позволяет прокатывать листы переменного сечения с клиновидностью до 1 мм/м.

Однако, как показал опыт работы стана, наладка и нормальная эксплуатация гидрорепердачи с приводом от двигателя переменного тока является более сложной по сравнению с регулируемым электроприводом постоянного тока.

2. ОПЫТНО-ПРОМЫШЛЕННЫЙ СТАН ДЛЯ ПРОКАТКИ ЛИСТОВ ПЕРЕМЕННОГО СЕЧЕНИЯ

На основе успешного опыта эксплуатации и исследования механизмов стана 250 под руководством чл.-корр. АН СССР А. И. Целикова А. А. Сарычевым, М. А. Сонькиным и автором был разработан проект и осуществлено переоборудование стана дуо 900 для прокатки листов переменного сечения из легких сплавов шириной до 800 мм.

Стан 900 (см. рис. 2) предназначен для холодной прокатки листов и полос переменного сечения из легких сплавов с пределом прочности до 40—60 кг/мм² и пределом текучести до 30—35 кг/мм².

Стан обеспечивает прокатку клиновидных листов следующего сортамента (табл. 1).

Таблица 1

Сортамент клиновидных листов			
Толщина, мм		Максимальная длина, м	Ширина, мм
начальная	конечная		
10	2	5	800
10	2	4	
4	2	5	
3	1,5	5	
2	1	5	

В качестве главного привода стана применен двигатель переменного тока мощностью 300 кет, 540 об/мин, обеспечивающий скорость выхода листа из валков в 25 м/мин.

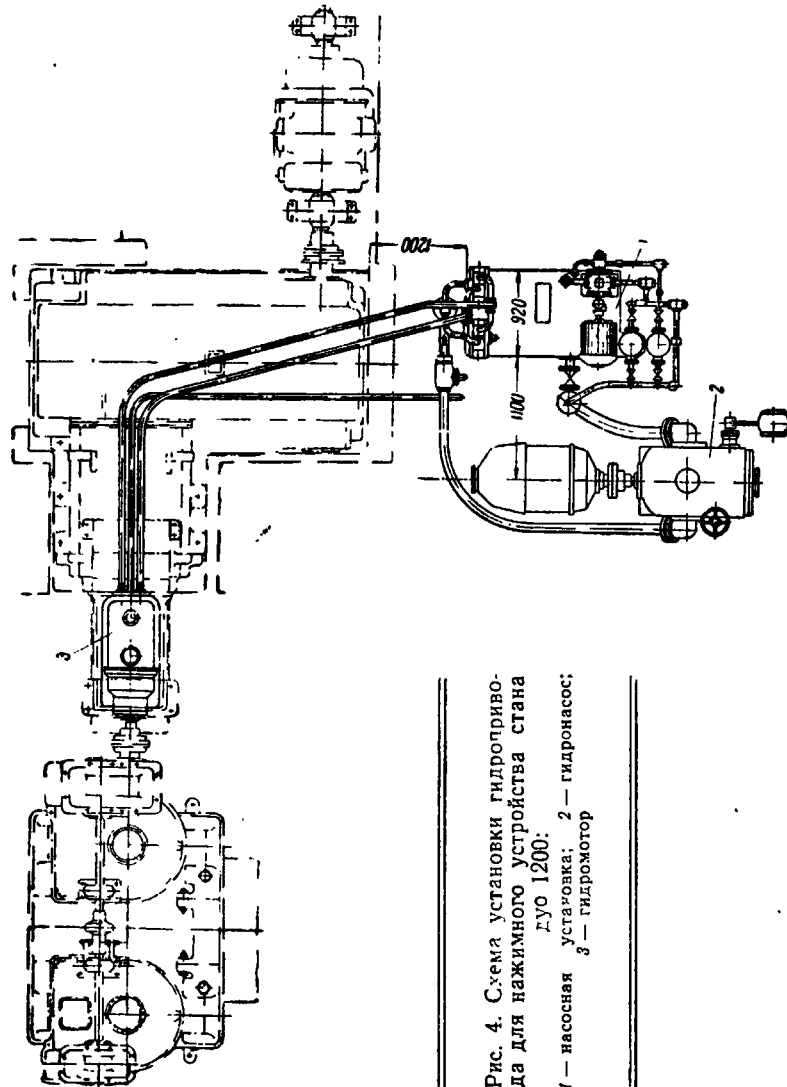


Рис. 4. Схема установки гидропривода для нажимного устройства стана дуо 1200:
1 — насосная установка; 2 — гидронасос;
3 — гидромотор

Двигатели механизма установки верхнего вала включаются автоматически специальным приспособлением, связанным со столом задачи.

Прокатка листов переменного сечения производится в несколько пропусков при непрерывно увеличивающемся расстоянии между валами. В дальнейшем, при производстве опытно-промышленных работ, на этом стане был также применен метод прокатки листов переменного сечения при непрерывно уменьшающемся расстоянии между валами. Таким образом, максимальное обжатие происходит либо в начале, либо в конце пропуска. Соответственно данной технологии спроектирован и построен механизм для установки верхнего вала (рис. 5).

Данный механизм состоит из нажимных винтов 1, получающих вращение через зубчатые шестерни 2 и 3 и червячные редукторы 4 и 5 от двух двигателей 6 типа ПН-750 мощностью 40,5 кВт при 630—1200 об/мин. Для фиксации положения верхнего вала установлен короткоходовой тормоз. Скорость перемещения нажимных винтов может регулироваться в пределах от 6 до 60 мм/мин. При настройке стана возможно отключение привода одного из нажимных винтов при помощи выключения зубчатой муфты 7, а конечным выключателем 8, при помощи кулачка 9, производится отключение соответствующего двигателя. Для контроля величины обжатия установлен указатель 10. Для ограничения хода нажимных винтов вверх предусмотрен аварийный конечный выключатель 11.

3. ОСВОЕНИЕ ОПЫТНО-ПРОМЫШЛЕННОГО СТАНА И ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ПРОКАТКИ ЛИСТОВ ПЕРЕМЕННОГО СЕЧЕНИЯ¹

Для установления технологического процесса прокатки листов переменного сечения из легких сплавов выполнено исследование стана дуо 900. Исследование стана было проведено при пробной прокатке листов переменного сечения из заготовок сплава Д16 размером 1,8×600×2000 мм. В электрическую схему привода нажимных винтов был включен электромашинный усилитель. Пуск двигателей нажимного устройства осуществлялся автоматически от стола задачи листов.

Необходимое соотношение между скоростью прокатки и скоростью изменения расстояния между рабочими валами устанавливается по формуле

$$\frac{n_n}{n_b} = \frac{\pi D_b}{t_b} \cdot \frac{i_n}{i_b} \operatorname{tg} \beta_{кл} = a \operatorname{tg} \beta_{кл}, \quad (1)$$

¹ Работа выполнена С. П. Грановским, Э. Р. Шором и М. А. Сонькиным.

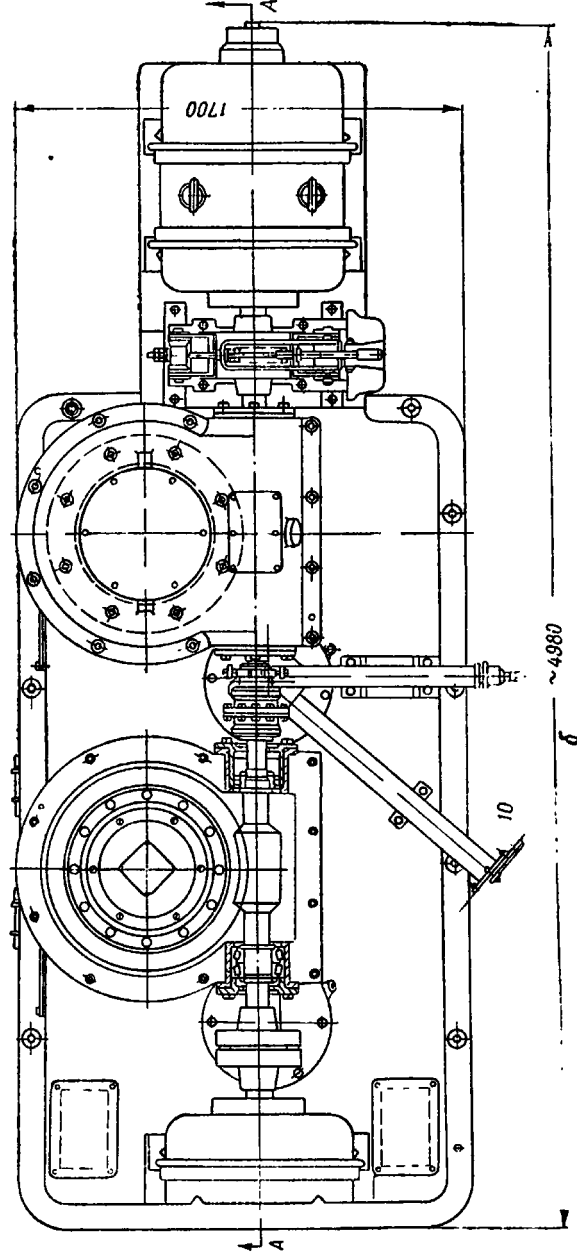
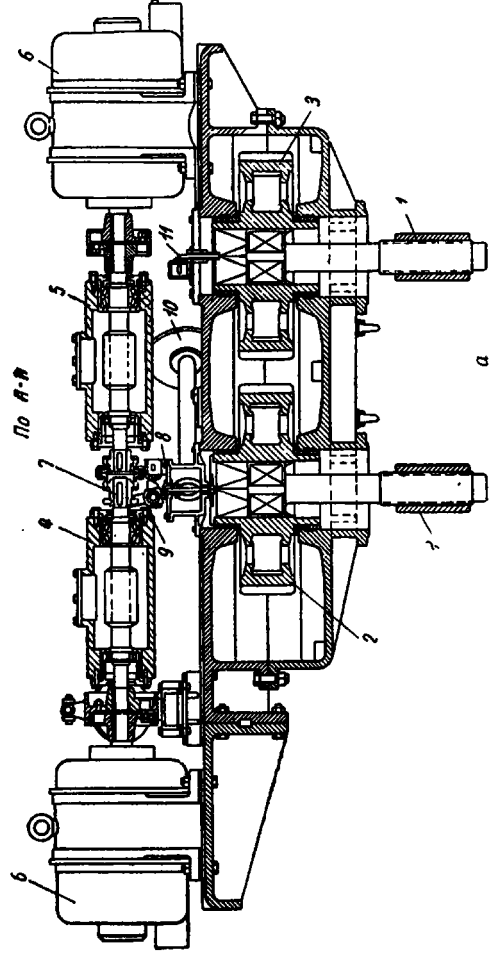


Рис. 5. Механизм для установки верхнего вала на стане дуо 900:
а — поперечный разрез; б — план

где a — постоянный коэффициент, зависящий от кинематических параметров стана;

n_n — число оборотов двигателя механизма установки верхнего вала;

n_b — число оборотов главного двигателя стана;

D_b — диаметр валков стана;

i_n — передаточное число редуктора механизма установки верхнего вала;

i_b — передаточное число редуктора привода рабочих валков;

t_b — шаг резьбы нажимного винта;

$\beta_{кл}$ — угол, характеризующий клиновидность профиля.

Для стана 900 коэффициент a равен:

$$a = \frac{3,14 \cdot 500 \cdot 116,1}{6 \cdot 37,81} \approx 800.$$

В этом подсчете величины коэффициента a не учитывается влияние упругой деформации деталей рабочей клетки стана. Как известно, при прокатке листа с переменным обжатием непрерывно изменяются усилия, действующие в стане, и соответственно изменяется величина упругой деформации деталей стана. В связи с этим фактическая клиновидность прокатываемого листа обычно меньше расчетной. Учесть достаточно точно расчетным путем влияние упругой деформации деталей рабочей клетки стана на клиновидность листа пока не представляется возможным, и поэтому при настройке стана на прокатку листов заданной клиновидности скорость двигателей нажимного устройства уточняется в процессе наладки стана.

Таким образом, согласно вышеприведенной формуле была определена расчетная клиновидность листов (без учета упругой деформации стана): $\tan \beta_{кл} = 1,4$ мм/м, т. е. при замере толщины листов через интервалы 200 мм толщина листа должна была увеличиваться на 0,28 мм. Замеры листов из сплава Д16, прокатанных по вышеуказанному режиму, показали, что клиновидность их непостоянна, а изменение клиновидности по длине листа — закономерно.

Качество выкатки листов было неудовлетворительным. Замеры торцевой кромки листа показали, что толщина листа в его середине на ~0,25 мм больше, чем у краев.

Для выявления причин неравномерной клиновидности листов было проведено осциллографирование процесса прокатки. На осциллограммах одновременно фиксировались: 1) скорость двигателей нажимного устройства (n_n); 2) сила тока, подводимого к двигателям (I_n); 3) напряжение, подводимое к двигателям (V_n); 4) скорость главного двигателя стана (n_b); 5) продолжительность процесса прокатки (t).

При проведении испытаний за один проход прокатывали листы переменного сечения из сплава Д16 (исходная заготовка постоянного сечения размером $4,8 \times 600 \times 2000$ мм). Двигатели нажимного устройства включались автоматически от стола задачи листа.

Прокатка производилась как с включением в схему электромашинного усилителя, так и без него. Обжатие на тонком конце листа не превышало 27%.

Для проверки работы электрической схемы осциллографировали три режима работы стана: при минимальной, номинальной и максимальной скорости двигателей нажимного устройства стана.

Согласно приведенной выше формуле при указанных режимах работы стана должна была быть получена (без учета упругой деформации стана) клиновидность листов 0,6, 1,4 и 2,6 мм/м при n_n соответственно 120, 270 и 630 об/мин.

Фактические замеры толщины листов при прокатке после осциллографирования представлены в виде графиков. На рис. 6 показан график изменения толщины листа, прокатанного при скорости двигателей привода нажимных винтов $n_n = 120$ об/мин (без включения в схему электромашинного усилителя). Как видно из графика, клиновидность по длине листа колеблется в пределах 0,15—0,3 мм/м, причем закономерного изменения клиновидности не наблюдается. Средняя клиновидность листа составляет 0,2 мм/м, т. е. она на 0,4 мм/м меньше расчетной. На осциллограмме № 1 (рис. 7) зафиксирован этот проход. Как видно из осциллограммы, в момент захвата листа скорость вращения двигателей $n_n = 110$ об/мин, а к концу прохода она возрастает до 140 об/мин. Следовательно, за весь период прокатки, который длился 5,1 сек., скорость двигателей нажимного устройства непрерывно менялась.

На рис. 8 представлен график изменения толщины листа, при прокатке которого скорость электродвигателей была установлена $n_n = 270$ об/мин, но в схему был включен электромашинный усилитель. Клинovidность по длине листа изменялась в пределах 0,2 ÷ 0,5 мм/м и в среднем составляла 0,35 мм/м. Обжатие тонкого конца листа 20%. Как видно из рисунка, нарастание толщины листа было так же, как и ранее, неравномерным.

Из осциллограммы № 2 (рис. 9), снятой при прокатке этого листа, видно, что даже при наличии в схеме электромашинного усилителя происходило изменение скорости в течение 3,8 сек., при общей продолжительности прокатки 5,4 сек. Таким образом, можно сделать вывод, что прокатка осуществлялась при изменяющемся режиме работы двигателей, что и вызывало неравномерную клиновидность прокатываемых листов.

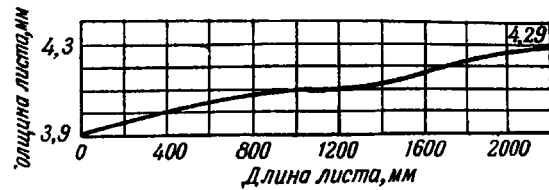


Рис. 6. Изменение толщины листа переменного сечения. Материал Д16; исходные размеры $4,8 \times 600 \times 2000$ мм

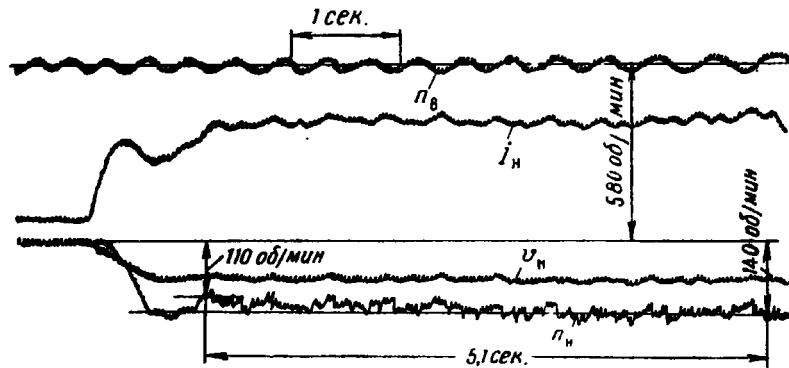


Рис. 7. Осциллограмма № 1

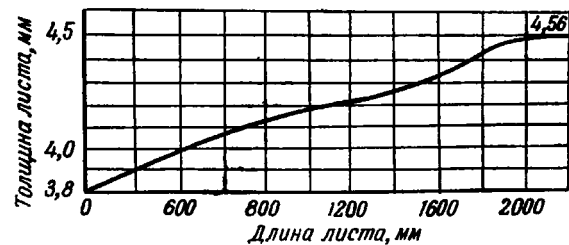


Рис. 8. Изменение толщины листа переменного сечения. Материал Д16; исходные размеры $4,8 \times 600 \times 2000$ мм

На рис. 10 приведен график изменения толщины листа, прокатанного при номинальной скорости двигателей $n_n = 630$ об/мин

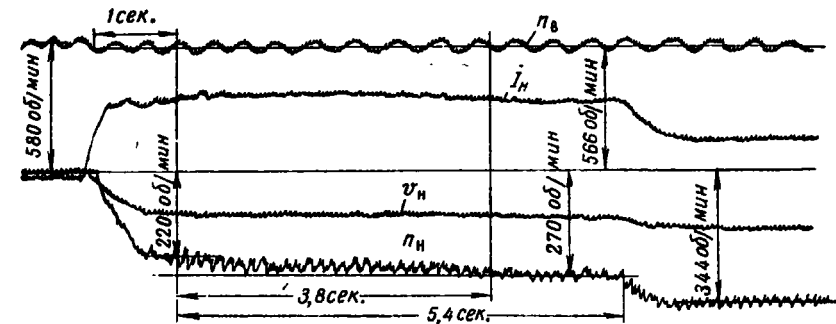


Рис. 9. Осциллограмма № 2

без включения в схему электромашиного усилителя. Обжатие тонкого конца листа составляло 26%. Клиновидность листа колебалась в пределах 0,4—0,8 мм/м и в среднем составляла 0,6 мм/м, т. е. на 0,8 мм/м меньше расчетной. При рассмотрении осциллограммы № 3 (рис. 11), снятой при прокатке этого листа,

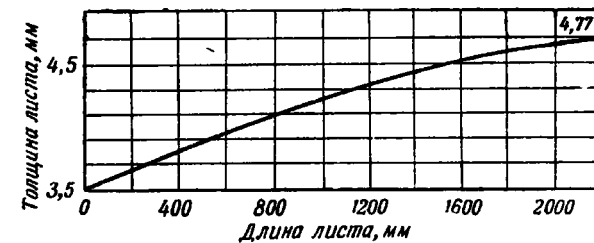


Рис. 10. Изменение толщины листа переменного сечения. Материал Д16; исходные размеры $4,8 \times 600 \times 2000$ мм

следует отметить, что обороты двигателей нажимного устройства достигли своего номинального значения только к концу прокатки.

На рис. 12 показан график изменения толщины листа, прокатанного при той же скорости двигателей нажимного устройства, но при включенном в схему электромашином усилителе. Замеры листа показали, что клиновидность его колеблется в пределах 0,35—0,8 мм/м и в среднем составляет около 0,6 мм/м,

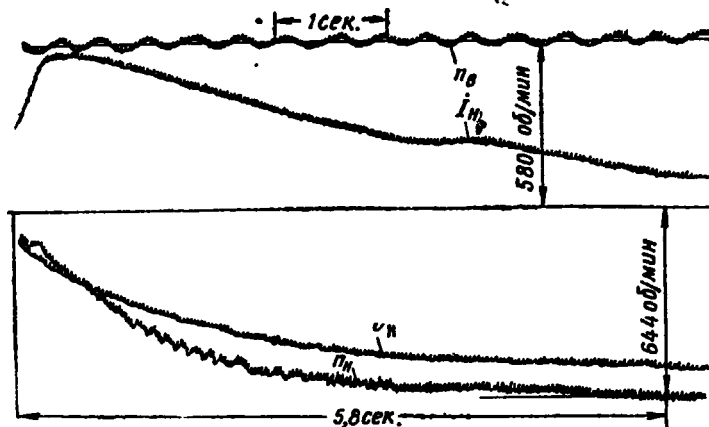


Рис. 11. Осциллограмма № 3

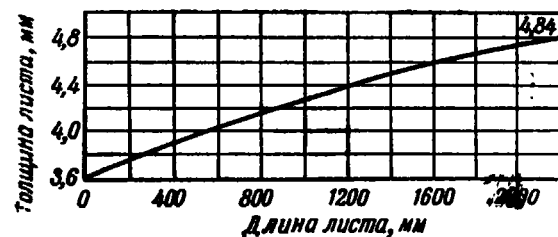
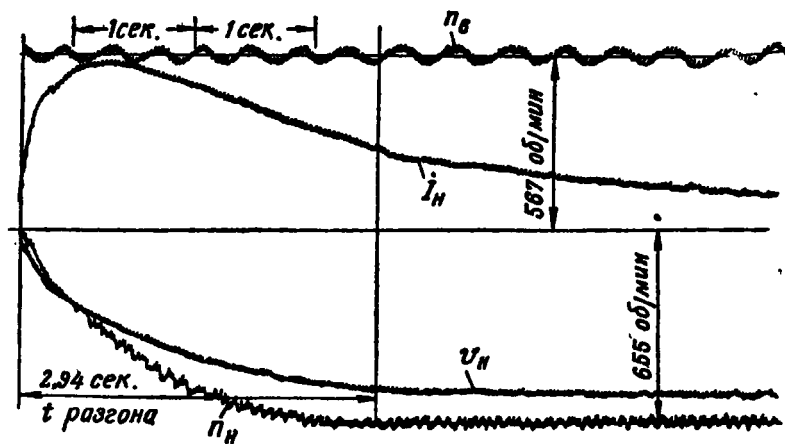
Рис. 12 Изменение толщины листа переменного сечения. Материал Д16, исходные размеры $4,8 \times 600 \times 2000$ мм

Рис. 13. Осциллограмма № 4

т. е. примерно на $0,8$ мм/м меньше расчетной. Обжатие тонкого конца листа составило $24,6\%$. Из осциллограммы № 4 (рис. 13), на которой зафиксирован этот проход, видно, что номинальная скорость двигателей ($n_n = 655$ об/мин) была достигнута через $2,94$ сек. после их пуска.

Сопоставляя осциллограммы № 3 и 4 (рис. 11 и 13), можно отметить, что при включении электромашинного усилителя продолжительность разгона сократилась с $5,8$ до $2,94$ сек.

На рис. 14 приведен график изменения толщины листа, прокатанного при максимальной скорости двигателей нажимного устройства ($n_n = 1200$ об/мин), причем электромашинный усилитель не был включен в схему. Как видно из рисунка, клиновидность листа колебалась в пределах $0,4$ — $1,1$ мм/м и в среднем составляла $0,6$ мм/м. Обжатие тонкого конца листа составляло $26,2\%$. Из осциллограммы № 5 (рис. 15) видно, что прокатка происходила в процессе разгона двигателей. К концу прокатки скорость двигателей составляла 1310 об/мин. Весь процесс прокатки длился $6,4$ сек. и в течение всего периода прокатки продолжался интенсивный разгон двигателей.

При прокатке листа при той же скорости двигателей нажимного устройства, но при включенном электромашинном усилителе, клиновидность листа колебалась в пределах $0,4$ — $0,95$ мм/м и в среднем составляла $0,62$ мм/м, т. е. была на $1,98$ мм/м меньше расчетной (рис. 16). Обжатие тонкого конца листа составляло $26,8\%$.

На осциллограмме № 6 (рис. 17) видно, что прокатка в этом случае также велась при переходном режиме работы двигателей.

На основании проведенных опытных работ установлено, что при автоматическом включении двигателей от стола задачи разгон двигателей не заканчивается к моменту задачи листа в валки и затягивается почти на весь период прокатки. Работа двигателей на переходном режиме приводит к изменению клиновидности прокатываемого листа в течение всего периода прокатки. Упругие деформации стана значительно снижают величину расчетной клиновидности прокатываемого листа.

Для устранения колебаний в клиновидности прокатываемого листа был опробован процесс прокатки с предварительным разгоном двигателей нажимного устройства при включении электромашинного усилителя. При этом запуск двигателей переводился на ручное управление. Лист устанавливали в столе задачи, а верхний валок опускали до сближения с нижним валком. После этого включали двигатели нажимного устройства, и когда указатель раствора валков показывал, что между валками образовался зазор, соответствующий заданному обжатию, лист с по-

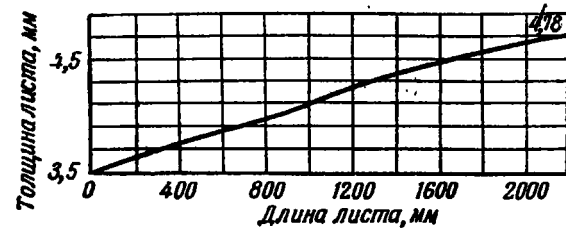


Рис. 14. Изменение толщины листа переменного сечения. Материал Д16, исходные размеры $4,8 \times 600 \times 2000$ мм

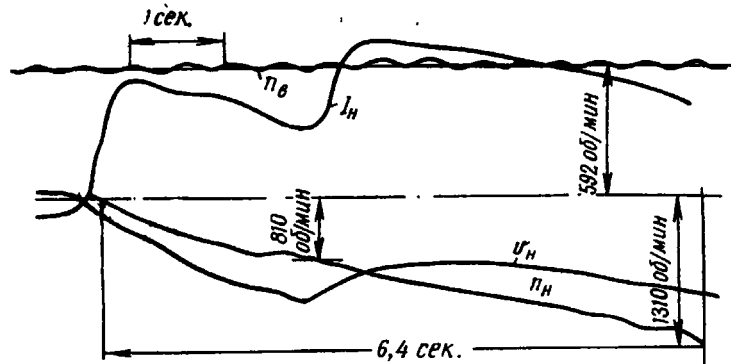


Рис. 15. Осциллограмма № 5

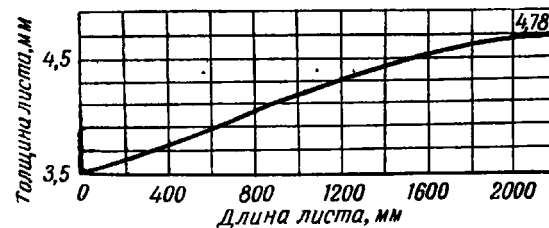


Рис. 16. Изменение толщины листа переменного сечения. Материал Д16, исходные размеры $4,8 \times 600 \times 2000$ мм

мощью стола задачи автоматически задавали в валки и, таким образом, осуществляли прокатку.

Опытные работы велись при прокатке листов переменного сечения из отожженной заготовки размером $3,8 \times 600 \times 2000$ мм из сплава Д16М с предварительным разгоном двигателей в два прохода при скорости вращения двигателей нажимного устройства $n_n = 400$ об/мин.

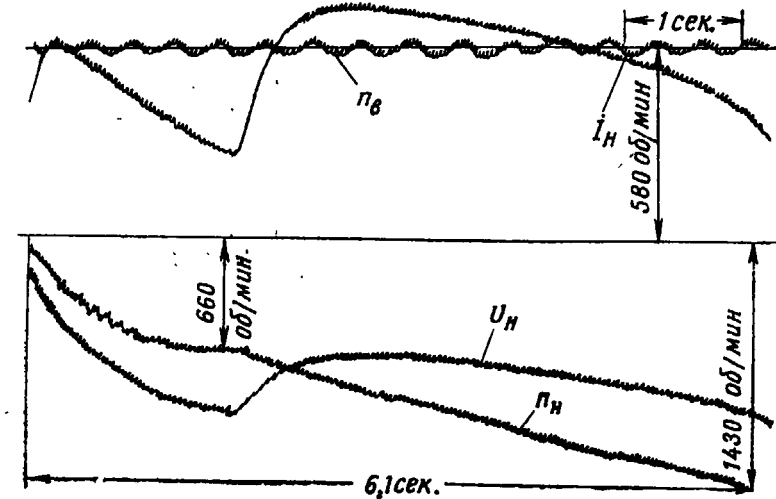


Рис. 17. Осциллограмма № 6

Прокатка с предварительным разгоном дала резкое улучшение геометрии прокатываемых листов. Отклонения от заданной клиновидности на одном и том же листе не превышали $0,15$ мм/м (рис. 18 и 19), в то время как при прокатке листов без предварительного разгона двигателей нажимного устройства эти отклонения достигали $0,45$ — $0,7$ мм/м. При номинальной скорости двигателей нажимного устройства ($n_n = 630$ об/мин) и при том же режиме обжатия, что и предыдущих листов, нарастание толщины листа происходило закономерно. Клиновидность прокатанных листов составляла $0,4$ мм/м (рис. 20 и 21). Некоторое небольшое отклонение от прямолинейного закона у толстого конца листов объясняется влиянием упругих деформаций деталей рабочей клетки стана.

В результате была установлена целесообразность вести прокатку листов переменного сечения с предварительным разгоном двигателей нажимного устройства.

Выше был рассмотрен процесс прокатки листов переменного сечения при увеличении расстояния между валками (т. е. на

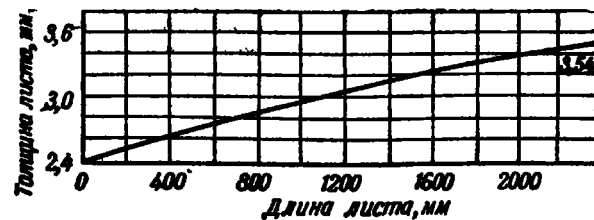


Рис. 18. Изменение толщины листа переменного сечения. Материал Д16, исходные размеры листа $3,8 \times 600 \times 2000$ мм

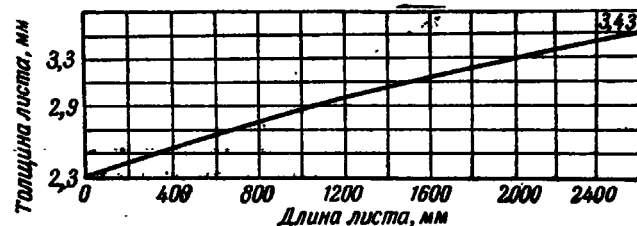


Рис. 18. Изменение толщины листа переменного сечения. Материал Д16, исходные размеры листа $3,8 \times 600 \times 2000$ мм

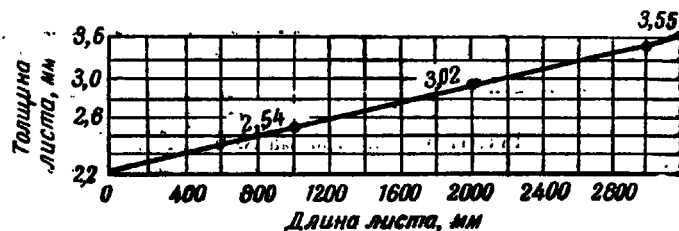


Рис. 19. Изменение толщины листа переменного сечения. Материал Д16, исходные размеры листа $3,8 \times 540 \times 2500$ мм

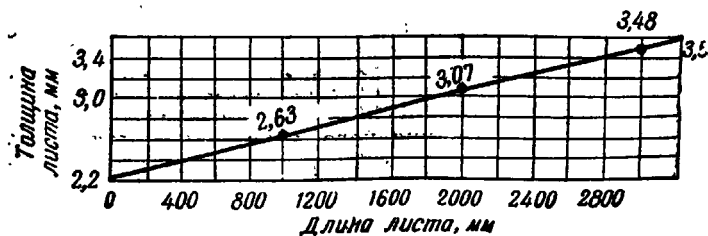


Рис. 20. Изменение толщины листа переменного сечения. Материал Д16, исходные размеры листа $3,8 \times 540 \times 2500$ мм

«отжим»). Определенные преимущества имеет также прокатка листов переменного сечения путем сближения валков (т. е. на «прижим» валков). Прокатка при сближении валков позволяет легко осуществить требуемый (для получения равномерной клиновидности листов) предварительный разгон двигателей нажимного устройства до нужного числа оборотов (исходя из требуемой клиновидности листов) и вести процесс при установившейся скорости двигателей нажимного устройства. Кроме того, в этом случае задача листа в валки облегчается тем, что лист задается в каждом проходе толстым своим концом, не подвергаясь интенсивной деформации. Прокатка при сближении валков должна таким образом улучшить условия задачи листа в валки после первого прохода, так как передний конец листа в этом случае не искривляется. Кроме того, в новых конструкциях станков для прокатки широких листов переменного сечения с целью улучшения условий выкатки листа применено натяжное устройство, позволяющее прокатывать листы с натяжением. При прокатке с натяжением целесообразно листы задавать в валки стана толстым концом, так как при этом лист будет надежнее зажиматься в каретке натяжного устройства. Этот метод прокатки с натяжением листа, выходящего из валков, был проверен на стане дуо 900; результаты прокатки приведены ниже (см. стр. 75). При этом выяснилось, что при прокатке листа толстым концом вперед плавное нарастание величины усилия натяжения не вызывает ухудшения качества выкатки листа. Все эти обстоятельства привели к необходимости экспериментальной проверки возможности прокатки листов переменного сечения при сближении валков.

Партия листов размером $2,2—3,5 \times 3100$ мм¹ из алюминиевого сплава Д16 шириной от 450 до 750 мм была прокатана при сближении валков. Скорость двигателей нажимного устройства была принята такой же, как и при прокатке с подъемом верхнего валка ($n_n = 350$ об/мин). Толщина исходной заготовки составляла $4—0,2$ мм. Прокатка в каждом проходе осуществлялась с предварительным разгоном двигателей нажимного устройства до их номинального числа оборотов. Листы размером $2,2—3,5 \times 450$ мм и длиной 3100 мм прокатывали в два прохода. В первом проходе тонкий (задний) конец листа обжимался до толщины $2,4—2,5$ мм ($\epsilon = 35\%$), а во втором проходе до толщины $1,9—2,0$ мм ($\epsilon = 20\%$).

Размеры прокатанных листов полностью удовлетворяли требованиям. Отклонения от расчетной толщины листа составляли

¹ Здесь и далее в тексте первая цифра обозначает толщину переднего конца листа, а вторая — толщину заднего конца листа.

0,02—0,08 мм при заданном допуске $\pm 0,2$ мм. Выкатка листов была также удовлетворительной.

Листы размером $2,2 \times 3,5 \times 750 \times 3100$ мм прокатывали в три прохода при сближении валков. Обжатия по проходам распределялись следующим образом: первый проход — $h_1 = 3,2 \text{—} 3,3$ мм ($\epsilon = 15\%$); второй проход — $h_1 = 2,6 \text{—} 2,7$ мм ($\epsilon = 19\%$); третий проход — $h_1 = 2,1 \text{—} 2,2$ мм ($\epsilon = 21\%$). Отклонения от расчетных толщин составляют 0,01—0,05 мм при заданном допуске $\pm 0,2$ мм.

Более тонкие листы переменного сечения размером $1,5 \text{—} 3 \times 540 \times 3100$ мм и $1,5 \text{—} 3 \times 750 \times 3600$ мм при сближении валков прокатывали в четыре прохода, причем в первых трех проходах листы прокатывались по тому же режиму, что и листы размером $2,2 \text{—} 3,5 \times 750 \times 3100$ мм, а в четвертом проходе во избежание заклинивания валков («посадка» валка на валок) прокатку вели с подъемом верхнего валка.

Таким образом, опытные работы по прокатке листов переменного сечения при сближении валков показали полную возможность применения этого метода прокатки.

Осциллографирование процесса прокатки листов шириной 760 мм с подъемом верхнего валка показало, что электрическая схема при этом режиме работы стана требует дополнительной регулировки. Регулировка схемы была произведена путем уменьшения сопротивления в цепи токовой обмотки электромашинного усилителя, причем была достигнута практически полная компенсация падения напряжения в главной цепи. Прокатка опытной партии листов переменного сечения шириной 760 мм показала, что постоянство скорости было достигнуто и нарастание клиновидности листов происходило достаточно равномерно. Этим была доказана целесообразность использования электромашинного усилителя также и при прокатке широких листов (760 мм) переменного сечения.

Прокатка с поджимом валков без компенсации падения напряжения от статической нагрузки не представляется возможной, по крайней мере в пределах обжатий, практически применяемых в процессе прокатки листов переменного сечения. Для введения такой компенсации было внесено соответствующее изменение в схему управления станом. Параллельно катушке одного из контакторов был подключен еще другой контактор, контакты которого создавали реверсивный мостик в цепи независимой обмотки электромашинного усилителя, подключенной к якору тахогенератора главного привода. Таким образом, при изменении направления вращения двигателей нажимного устройства меняется знак напряжения компенсации от статической нагрузки, создаваемой бустер-генератором.

После отладки схемы вышеуказанным способом была про-

катана партия листов переменного сечения шириной 760 мм; отклонения от фактической толщины на данных листах составляли 0,04—0,16 мм при заданном допуске $\pm 0,2$ мм. Это означает, что освоенный режим работы стана с опусканием верхнего валка при прокатке полностью удовлетворяет поставленным требованиям.

Режим работы стана был установлен для следующего сортамента листов переменного сечения из сплава Д16:

- 1) $2,2 \text{—} 3,5 \times 450 \times 3100$ мм
- 2) $1,5 \text{—} 3,0 \times 450 \times 3100$ »
- 3) $2,2 \text{—} 3,5 \times 720 \times 3100$ »
- 4) $1,5 \text{—} 3,0 \times 720 \times 3100$ »
- 5) $0,8 \text{—} 2,0 \times 720 \times 3000$ »

Клиновидность листов — 0,42 мм/м. Отклонение от заданной клиновидности при замере толщины листа через 1 м допускалось в пределах $\pm 0,2$ мм.

Так как данный сортмент является типичным для использования в ряде конструкций, то ниже приводится описание процесса освоения прокатки этих листов. Рассмотренная ниже технология прокатки указанных листов позволит установить технологический процесс прокатки листов переменного сечения любых других толщин и клиновидностей, допускаемых конструкцией стана, и с небольшими коррективами на любом другом прокатном стане и из других материалов (например, стали и т. д.).

Размеры исходных листов постоянного сечения, являющихся заготовками, из которых прокатывали листы переменного сечения, определенные из условия постоянства объема металла при прокатке, были следующие: $3,8 \times 540 \times 2500$ мм; $3,8 \times 750 \times 2500$ мм; $2,5 \times 750 \times 2000$ мм.

В целях получения удовлетворительной выкатки листов переменного сечения указанных выше размеров была проведена экспериментальная работа по выбору величины выпуклости («бочки») рабочих валков.

Как известно, на обычных листовых прокатных станах «бочка» рабочего валка имеет выпуклость, соответствующую определенному диапазону толщин прокатываемых листов. Размер наибольшей выпуклости валков определяется по давлению металла на валки и соответствующему ему прогибу валка. Однако расчетные размеры «бочки» валка обычно уточняются путем экспериментального подбора профиля валка при прокатке заданного сортамента листов.

При прокатке листов переменного сечения выбор профиля «бочки» валка (выпуклости валка) осложняется дополнительно тем, что, как было отмечено выше, при прокатке одного и того же листа обжатие, а следовательно, и давление металла на вал-

ки, непрерывно изменяются. Вследствие этого непрерывно изменяется и прогиб вала. Таким образом, в идеальном случае при прокатке листа переменного сечения профиль вала должен был бы также непрерывно изменяться. Существующая конструкция стана не позволяет регулировать профиль вала во время прокатки, поэтому необходимо подбирать такую выпуклость вала, которая была бы оптимальной для всего диапазона обжатий листа переменного сечения.

Подбор выпуклости вала производят, исходя из предположения, что профиль бочки должен соответствовать максимальному обжатию листа. Зная размеры листа и величину максимального обжатия, по формуле А. И. Целикова¹ подсчитывалось давление металла на валки при данном обжатии листа.

Прогиб вала определяется уравнением

$$f_{\text{общ}} = f_1 + f_2,$$

где f_1 — стрела прогиба от действия изгибающего момента;

f_2 — стрела прогиба от действия поперечных сил,

$$f_1 = \frac{P}{18,8 \cdot ED^4} \left\{ 8a^3 - 4ab^2 + 64c^3 \left[\left(\frac{D}{d} \right) - 1 \right] \right\}, \quad (2a)$$

где D — диаметр вала;

d — диаметр шейки вала;

a — расстояние между осями нажимных винтов;

b — ширина прокатываемого листа;

c — половина длины шейки вала;

E — модуль упругости материала валков, кг/мм²;

P — расчетная нагрузка.

В нашем случае после подсчета получим

$$f_1 = 0,163 \text{ мм.}$$

$$f_2 = \frac{P}{G\pi D^2} \left\{ a + \frac{b}{2} + 2c \left[\left(\frac{D}{d} \right)^2 - 1 \right] \right\}, \quad (26)$$

где G — модуль сдвига для материала валков, кг/мм².

В нашем случае $f_2 = 0,052 \text{ мм.}$

$$f_{\text{общ}} = 0,163 + 0,052 = 0,215 \text{ мм.}$$

На основании приведенного выше расчета комплект валков для стана 900 был отшлифован с выпуклостью 0,3 мм на радиус.

На рис. 22 представлен график изменения радиуса выпуклости вала при максимальной величине выпуклости 0,3 мм на радиус. Опытная прокатка на этих валках заготовок постоян-

ного сечения из сплава Д16 размером 3,8×760×2000 мм на листы переменного сечения положительных результатов не дала. Первый же лист, прокатанный с обжатием $\epsilon = 12\%$, оковал верхний валок. Измерения листа показали, что толщина его по середине на 0,2 мм меньше, чем у боковых кромок. Следующий лист был прокатан с обжатием $\epsilon = 20\%$. В середине листа образовался гофр (рис. 23). Замеры показали, что толщина ме-

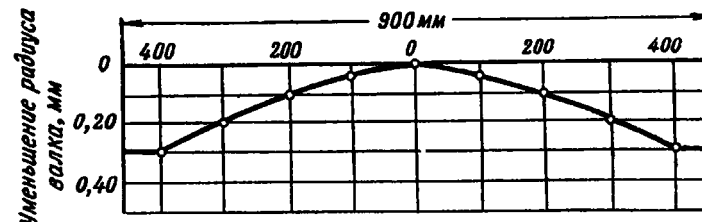


Рис. 22. График изменения выпуклости бочки вала

талла по середине листа на 0,2—0,22 мм меньше, чем у боковых кромок. Таким образом, принятая выпуклость бочки вала оказалась слишком большой, и в связи с этим валки были перешлифованы на меньшую выпуклость бочки (на 0,09—0,1 мм на радиус). Измерения бочки вала после шлифовки показали, что фактическая выпуклость бочки вала составляла 0,085 мм на радиус. Опыты на перешлифованных валках были начаты с прокатки листов постоянного сечения. Гофр листа уменьшился, но в середине лист обжимался больше, чем по кромкам (рис. 24).

Как видно из рис. 24, при данной выпуклости валков коробоватость распространяется по всей длине листа. Следует отметить, что устранить значительную коробоватость у толстого конца листа последующей правкой на растяжной машине не представляется возможным, так как для выпрямления толстого конца листа требуется приложить большое усилие натяжения, при котором тонкий конец листа разрывается. В целях устранения указанных недостатков валики были перешлифованы на еще меньшую выпуклость. На рис. 25 представлен график изменения профиля вала; выпуклость вала составляла 0,045 мм на радиус.

Прокатка листов переменного сечения указанного выше сортамента, проведенная на валках с данной выпуклостью, показала значительное улучшение выкатки листов (рис. 26). Листы, прокатанные при данной выпуклости, имели небольшую волнистость у тонкого конца; на толстом конце листа волнистости не наблюдалось. При такой выкатке листов и последующей растяжке их в свежезакаленном состоянии достигнуто удовлетворительное выпрямление листов.

¹ А. И. Целиков, В. В. Смирнов. Прокатные станы. Металлургиздат, 1958.



Рис. 23. Лист, прокатанный с образованием гофра

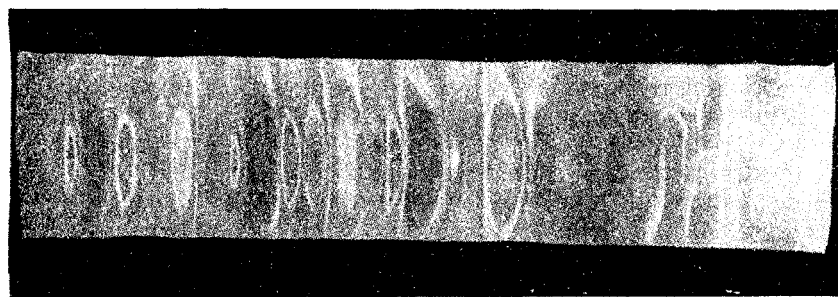


Рис. 24. Лист размером $1,5 \times 4 \times 750 \times 3500$ мм, имеющий коробчатость по всей длине, прокатанный на валках с выпуклостью $0,085$ мм на радиус

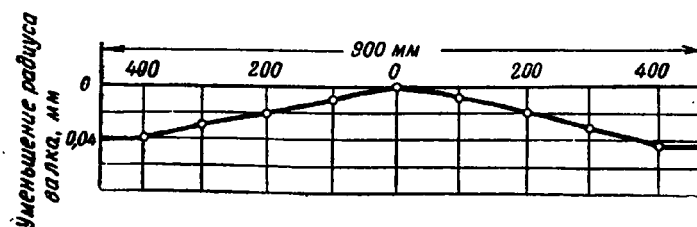


Рис. 25. График изменения выпуклости бочки вала

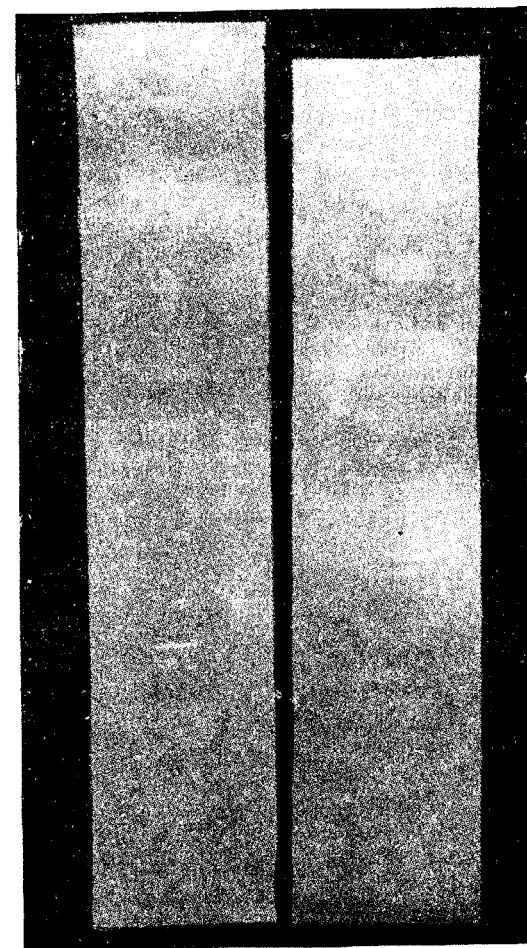


Рис. 26. Вид листа размером $1,5 \times 4 \times 750 \times 3500$ мм, прокатанного на валках с выпуклостью $0,045$ мм на радиус

4. УСТРОЙСТВО ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ЗАДАЧИ ЛИСТОВ В ВАЛКИ

При проведении работ по освоению прокатки листов переменного сечения на стане дуо 900 было установлено, что прокатка листов переменного сечения с включением нажимного устройства во время перемещения стола задачи не обеспечивает получение линейного закона изменения толщины листа, вследствие того, что двигатели не успевают разогнаться и прокатка осуществляется при неустановившейся скорости подъема валка.

Для устранения этого недостатка схема работы стана была изменена таким образом, что сначала включали двигателя нажимного механизма и в момент окончания разгона двигателей вручную включали стол задачи. Это позволило устранить искажения профиля прокатываемого листа. Однако ручная задача листов затрудняла обслуживание стана и приводила к большой разнице в толщине передних концов листов.

Для автоматизации процесса задачи листов после полного разгона двигателей применили устройство, состоящее из электромагнитного пневматического клапана и командоконтроллера, связанного с указателем подъема валка.

Работа стана при автоматической задаче листа осуществляется следующим образом. После заправки листа в стол задачи включаются с пульта управления двигатели нажимного устройства и при определенном растворе валков, когда разгон двигателей закончился, командоконтроллер включает электромагнит пневматического клапана, вследствие чего перемещается стол задачи.

Конструкция командоконтроллера, разработанного во ВНИИ-МЕТМАШ, представлена на рис. 27. Он состоит из четырех секций и предназначен для автоматического включения стола задачи при прокатке листов в четыре прохода. В случае увеличения числа проходов к контроллеру могут быть подключены дополнительные секции. Вал контроллера с помощью муфты соединяется с валом указателя нажимного механизма. Каждая пара секций командоконтроллера состоит из одного щеткодержателя и двух текстолитовых червячных колес, на которых закреплены по две сегментные латунные шины. Через втулки, закрепленные в червячных колесах, проходит вал контроллера, на котором закреплены щеткодержатели. На каждом щеткодержателе смонтированы две пары скользящих контактов. При вращении вала контроллера контакты скользят вначале по изолированной поверхности колеса, а затем по латунным шинам, к которым подведены провода от электромагнита. Таким образом, при попадании контактов на сегментные шины включается электромагнит пневматического клапана. Установка контроллера осуществляется поворотом червячного колеса с помощью червяка и маховичка. Для

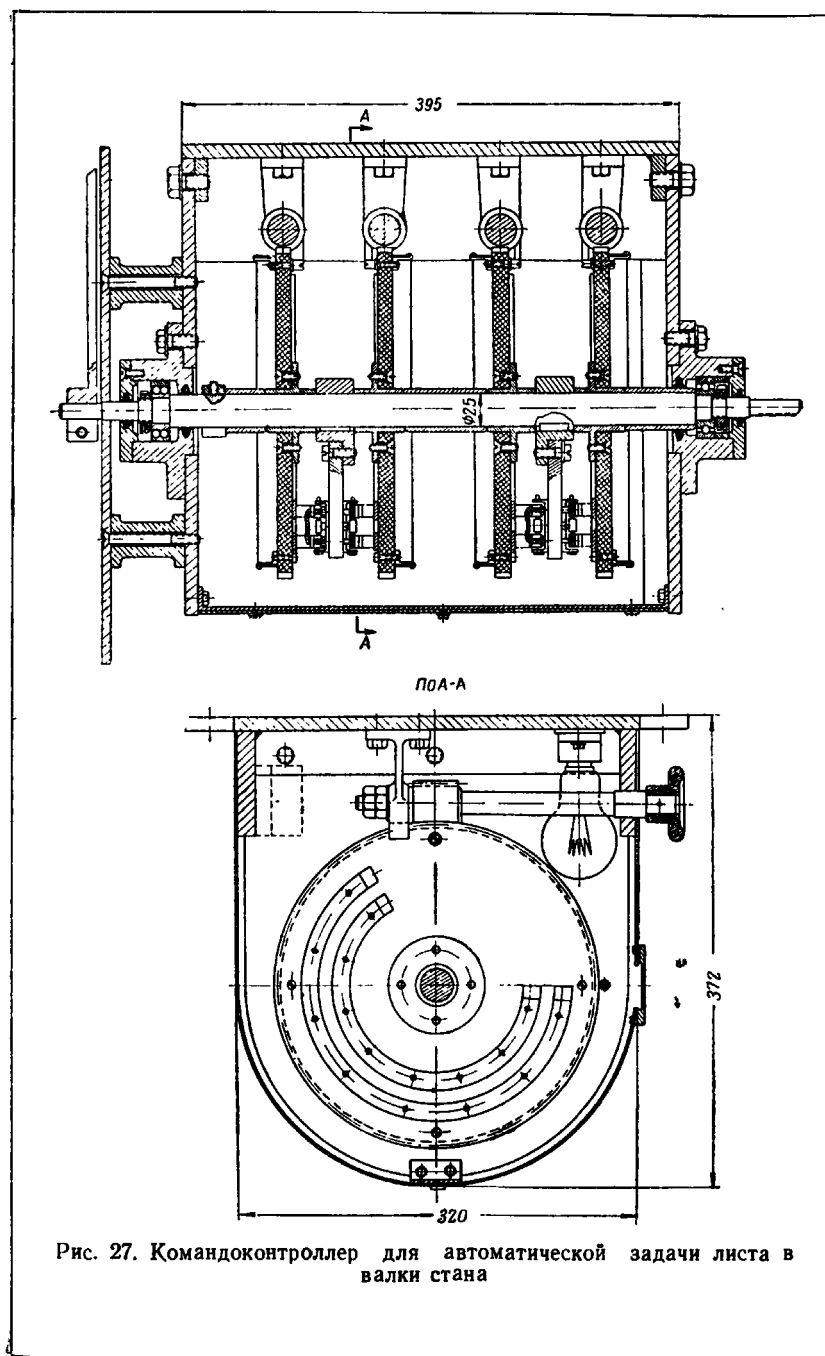


Рис. 27. Командоконтроллер для автоматической задачи листа в валки стана

определения положения червячных колес служат циферблаты и струна, протянутая вдоль всего контроллера. Деления циферблата на червячном колесе соответствуют делениям циферблата указателя подъема валков. Таким образом, установив контроллер согласно заданной схеме обжатий можно осуществить автоматическую задачу листа путем включения двигателей нажимного устройства с пульта управления. Такая конструкция контроллера обеспечивает возможность предварительной настройки стана на заданную схему обжатий и не требует переключения контроллера после каждого прохода.

Наряду с разработкой конструкции программного контроллера был изготовлен контроллер упрощенной конструкции, представляющий собой текстолитовую плиту с закрепленными по ее окружности контактами (число контактов соответствует делениям циферблата указателя).

Панель смонтирована на циферблате указателя, а на вал указателя насажен ползунок. Аналогичная панель установлена на пульте управления, но с ручным перемещением ползунка; контакты этой панели соединены с контактами панели указателя.

Установив ползунок контактора на пульте управления в определенном положении, подводим ток к соответствующему контакту панели указателя. При работе нажимного механизма ползунок, закрепленный на указателе, перемещаясь, подходит к требуемому контакту и включает электромагнит пневматического клапана стола задачи.

Устройство для автоматической задачи листов, состоящее из электромагнитного пневматического клапана и контроллера, было установлено на стане 900 и показало удовлетворительную работу.

Глава II

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СТАНА ДЛЯ ПРОКАТКИ ЛИСТОВ ПЕРЕМЕННОГО СЕЧЕНИЯ

1. ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ АППАРАТУРА

Исследование проводили на описанном выше стане дуо с диаметром рабочих валков 500 мм и длиной бочки 900 мм¹. Стан специально переоборудовали для прокатки дюралюминовых листов переменного сечения.

Исследование давления металла на валки и влияния жесткости стана на геометрию прокатываемых листов переменного сечения проводилось при прокатке дюралюминовых листов из сплава Д16 толщиной $2,5 \times 0,8$; $4 \times 1,5$ и $6,5 \times 2$ мм;² ширина листов от 620 до 760 мм.

Для того чтобы по возможности уменьшить влияние неоднородности механических свойств отдельных листов на давление металла на валки при прокатке, все исходные заготовки подвергались отжигу.

Листы переменного сечения прокатывали без смазки, на сухих валках. Скорость прокатки при всех опытах была постоянной и составляла 0,4 м/сек. Для определения опережения при прокатке на бочке верхнего валка электрографом были нанесены метки. Давление металла на валки измеряли емкостными методами, установленными под нажимными винтами стана, и с помощью проволочных датчиков, наклеенных на стойки станин.

Для определения влияния упругой деформации деталей рабочей клетки на геометрию прокатываемых листов на осциллограммах, одновременно с усилием на валках, фиксировались скорость вращения валков (n_v) и скорость электродвигателей нажимного устройства (n_n). По скорости вращения и подъему валка определяли расчетную клиновидность листов ($\lg \beta_p$) без учета упругой деформации деталей рабочей клетки:

¹ Исследование проводилось канд. техн. наук С. П. Грановским, инж. Б. Н. Козловым и автором.

² Здесь и далее в тексте первая цифра обозначает толщину переднего конца листа, а вторая — толщину заднего конца листа.

$$\operatorname{tg} \beta_P = \frac{t_{i_n}}{\pi D_n i_n} \cdot \frac{n_n}{n_n} \quad (3)$$

Сравнением расчетного и фактически полученного профиля листа определяли отклонения от расчетного профиля, получаемые при прокатке листов переменного сечения. Сопоставляя полученные отклонения с экспериментальными данными (по зависимости деформации рабочей клетки от давления металла на валки), можно определить влияние деформации деталей рабочей клетки на геометрические размеры прокатываемых листов. Скорость вращения валков фиксировалась с помощью контактной шайбы; скорость электродвигателей нажимного устройства фиксировалась с помощью тахомашины. Установка приборов на стане показана на рис. 28.

Зависимость деформации рабочей клетки (γ) от усилия прокатки (P) определяли экспериментально следующим образом.

Рабочие валки стана сближались до соприкосновения. Предварительное поджатие валков контролировалось месдозами. При такой установке валков прокатывали листы постоянного сечения из заготовок различной исходной толщины. Так как при прокатке зазор между валками образовался только за счет упругой деформации деталей рабочей клетки, то величина этой деформации соответствовала толщине листа после прокатки (упругой деформацией листа пренебрегали). Фиксируя при этих опытах давление металла на валки, получаем искомую зависимость.

В связи с тем что деформация рабочей клетки складывается из деформации станины, нажимных винтов, предохранительных стаканов, валков, подушек и других деталей, целесообразно определить, как распределяется полная деформация рабочей клетки между отдельными ее деталями. Зная влияние отдельных элементов рабочей клетки, можно при конструировании нового стана рационально повысить жесткость отдельных узлов и тем самым уменьшить влияние деформации рабочей клетки на геометрию прокатываемых листов переменного сечения. Для определения зависимости деформации станины от давления металла на валки проводили следующие опыты. К нижней поперечине станины прикрепляли штангу 1, верхняя часть которой упиралась в ножку кругового ходомера 2; корпус 3 ходомера прикреплен к верхней поперечине станины (рис. 29).

Принципиальная схема ходомера¹ представлена на рис. 30. При перемещении ножки 1 ходомера с помощью реечного зацепления приводится во вращение диск 3, на боковой поверхности которого укреплен струна 4. К струне подводится напряжение 5 от аккумулятора. Скользящий контакт 6 смонтирован в корпусе

¹ Конструкция ходомера разработана канд. техн. наук В. В. Смирновым.

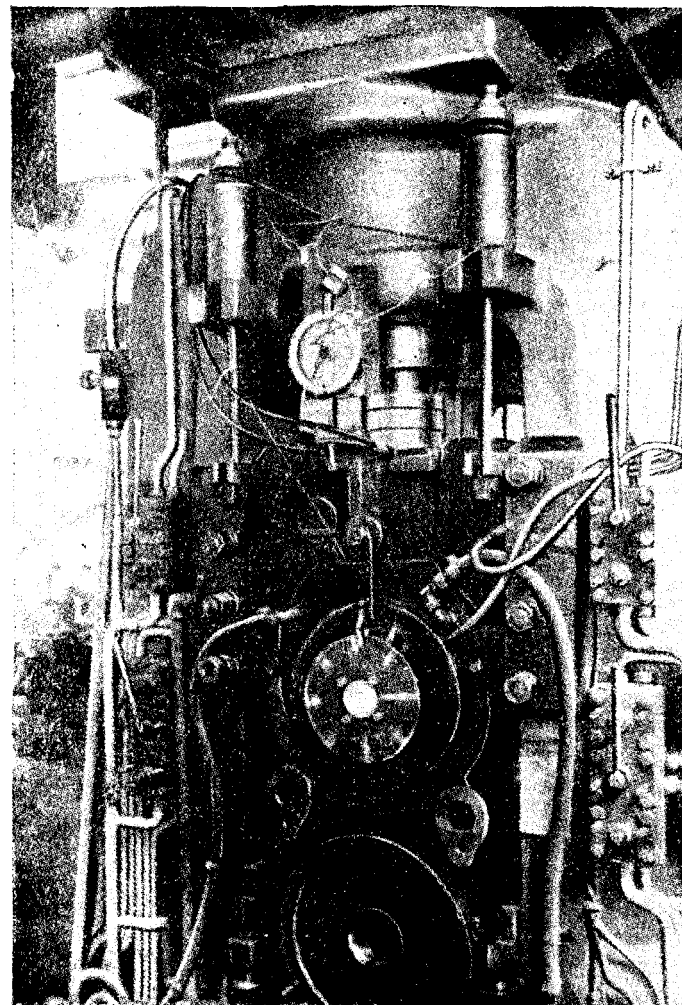


Рис. 28. Установка измерительных приборов на рабочей клетки стана 900

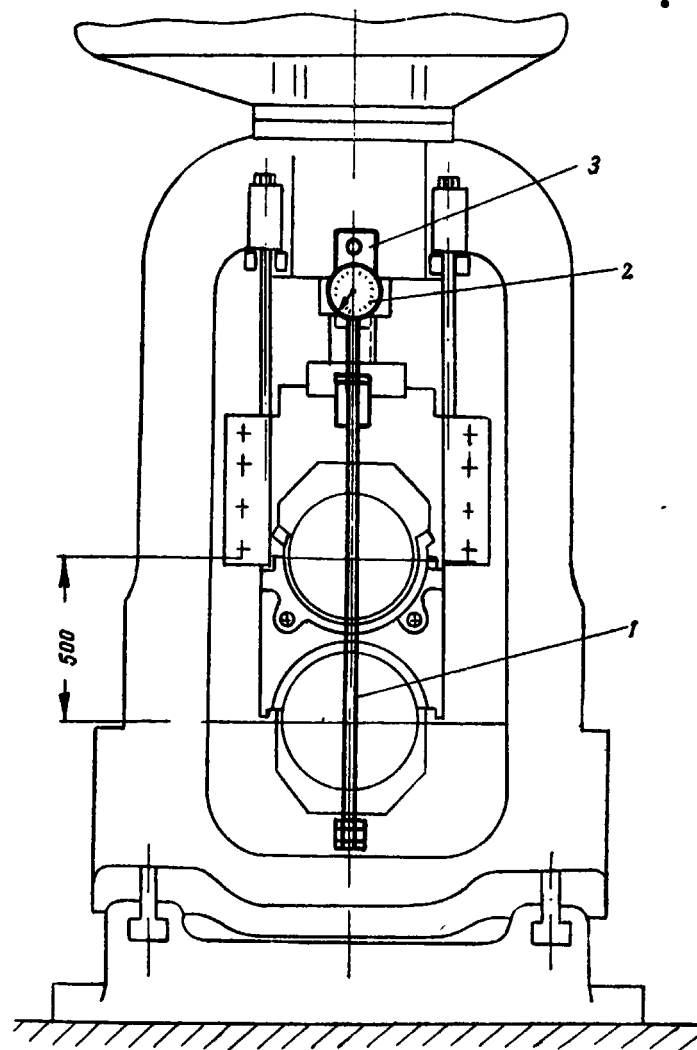
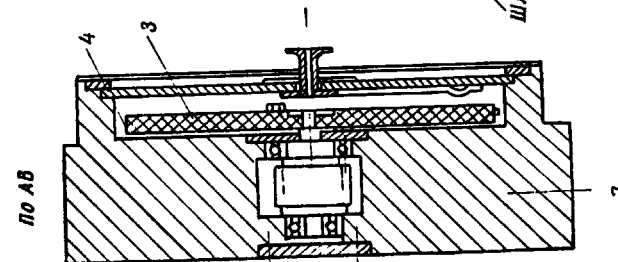
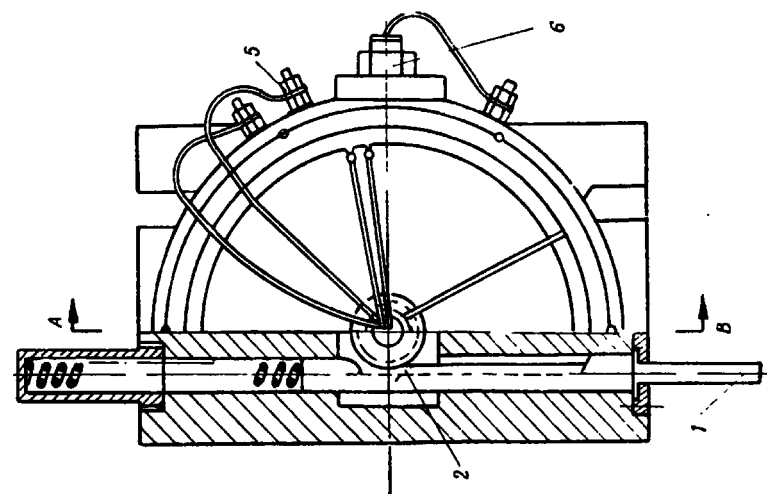


Рис. 29. Схема установки кругового ходомера для определения деформации станины рабочей клетки стана 900



По АВ

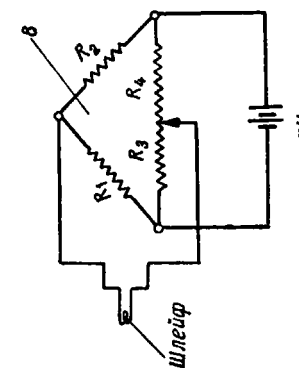


Рис. 30. Схема устройства и включения кругового ходомера

7 ходомера. При повороте диска контакт скользит по струне, вследствие чего изменяется сопротивление ее участков и нарушается электрическое равновесие в измерительном мостике 8. Под действием давления металла на валки станина деформируется и деформация фиксируется ходомером. При этом на осциллограммах одновременно фиксируется и давление прокатки.

Зависимость деформации нажимного винта, гайки и стакана от давления металла на валки была определена экспериментально по методике, аналогичной определению жесткости станины. При этом, в отличие от предыдущих опытов, штангу 1, упирающуюся в ножку ходомера 2, закрепляли на подушке 3 верхнего валка (рис. 31).

При прокатке листов различной толщины подушка верхнего валка перемещалась относительно станины только благодаря наличию упругой деформации нажимного винта, гайки и стакана. Перемещения подушек фиксировались ходомером на осциллограммах. Одновременно фиксировалось также давление металла на валки при прокатке.

Если при прокатке листов с неподвижными нажимными винтами ходомером фиксировалась деформация нажимного винта, гайки и стакана, то при прокатке листов переменного сечения, когда нажимные винты приводились в движение электродвигателями, тот же ходомер фиксировал уже перемещение нажимных винтов с учетом изменения деформации нажимных винтов, гайки и стакана.

В связи с этим при снятии осциллограмм процесса прокатки листов переменного сечения фиксировались также показания ходомера. Это позволило при дальнейшей обработке осциллограмм выделить деформацию узла, состоящего из нажимного винта, гайки и стакана, из общей деформации клетки и тем самым определить влияние жесткости этого узла на точность прокатываемых листов.

Для контроля замеров давления на валки, а также для определения коэффициента трения в резьбе и пяте нажимного винта на осциллограммах, одновременно фиксировалась сила тока двигателей нажимного устройства.

Таким образом, при проведении испытаний стана при прокатке листов переменного сечения на осциллограммах одновременно записывались следующие величины:

давление на правый нажимной винт ($P_{пр}$);

давление на левый нажимной винт ($P_{лев}$);

сила тока электродвигателя нажимного устройства (I_n);

число оборотов электродвигателя нажимного устройства (n_n);

число оборотов валков стана (n_b);

показания ходомера, фиксирующего изменение расстояния

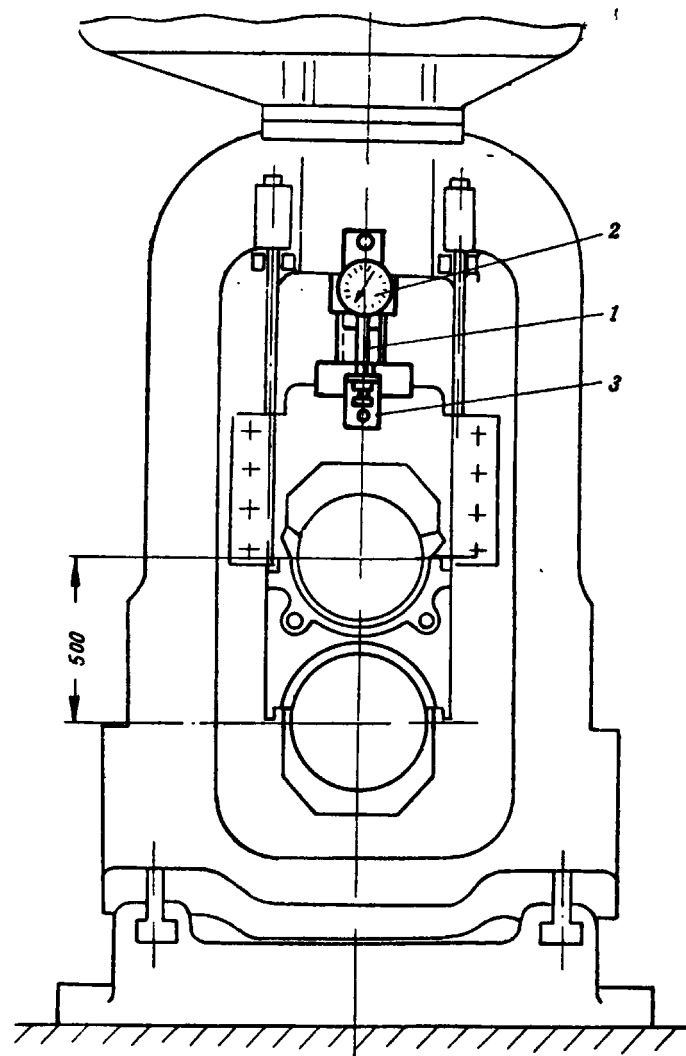


Рис. 31. Схема установки кругового ходомера для определения перемещения и деформации нажимного винта, гайки и стакана рабочей клетки стана 900

между валками с учетом изменения деформации нажимного винта, гайки и стакана;

показания отметчика времени.

Одновременно производился обмер профиля клиновидного листа до и после прокатки, а также расстояния между отпечатками на листе, выдавленными метками на валке. Это позволило определить обжатие и величину опережения, изменяющиеся при прокатке листа переменного сечения.

2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДАВЛЕНИЯ МЕТАЛЛА НА ВАЛКИ

При проведении испытаний были сняты осциллограммы процесса прокатки дюралюминовых листов переменного сечения толщиной $6,5 \times 2$; $4 \times 1,5$; $2,5 \times 0,8$ мм с различной клиновидностью.

На рис. 32 представлены фотографии типовых осциллограмм, снятых при проведении испытаний.

Из приведенных осциллограмм можно сделать вывод, что давление металла на валки при прокатке листов переменного сечения изменяется приблизительно по линейному закону. Так как листы прокатывали при подъеме верхнего валка, то с момента задачи листа давление металла на валки постепенно уменьшалось.

При обработке экспериментальных данных давление металла на валки определялось в трех точках осциллограммы: в начале, в середине и в конце прокатки каждого листа переменного сечения.

Для определения обжатия полосы в рассматриваемой точке осциллограммы построены графики изменения толщины листа по отдельным проходам (рис. 33).

Расстояние от переднего конца листа до сечения, соответствующего рассматриваемой точке на осциллограмме (L_n), определялось, исходя из окружной скорости валка и опережения при прокатке (s), по нижеследующему уравнению:

$$L_n = \frac{l}{m} \cdot \frac{\pi D_u n_v}{60} (1 + s), \quad (4)$$

где l — расстояние на осциллограмме от начала прокатки до рассматриваемой точки;

m — масштаб времени;

n_v — число оборотов валков в минуту.

Подставляя в эту формулу постоянные для данного стана величины, находим

$$L_n = 0,404 \frac{l}{m} (1 + s) \text{ мм.}$$

Зная расстояние от переднего конца листа до рассматриваемого сечения и имея размеры клиновидного листа до и после

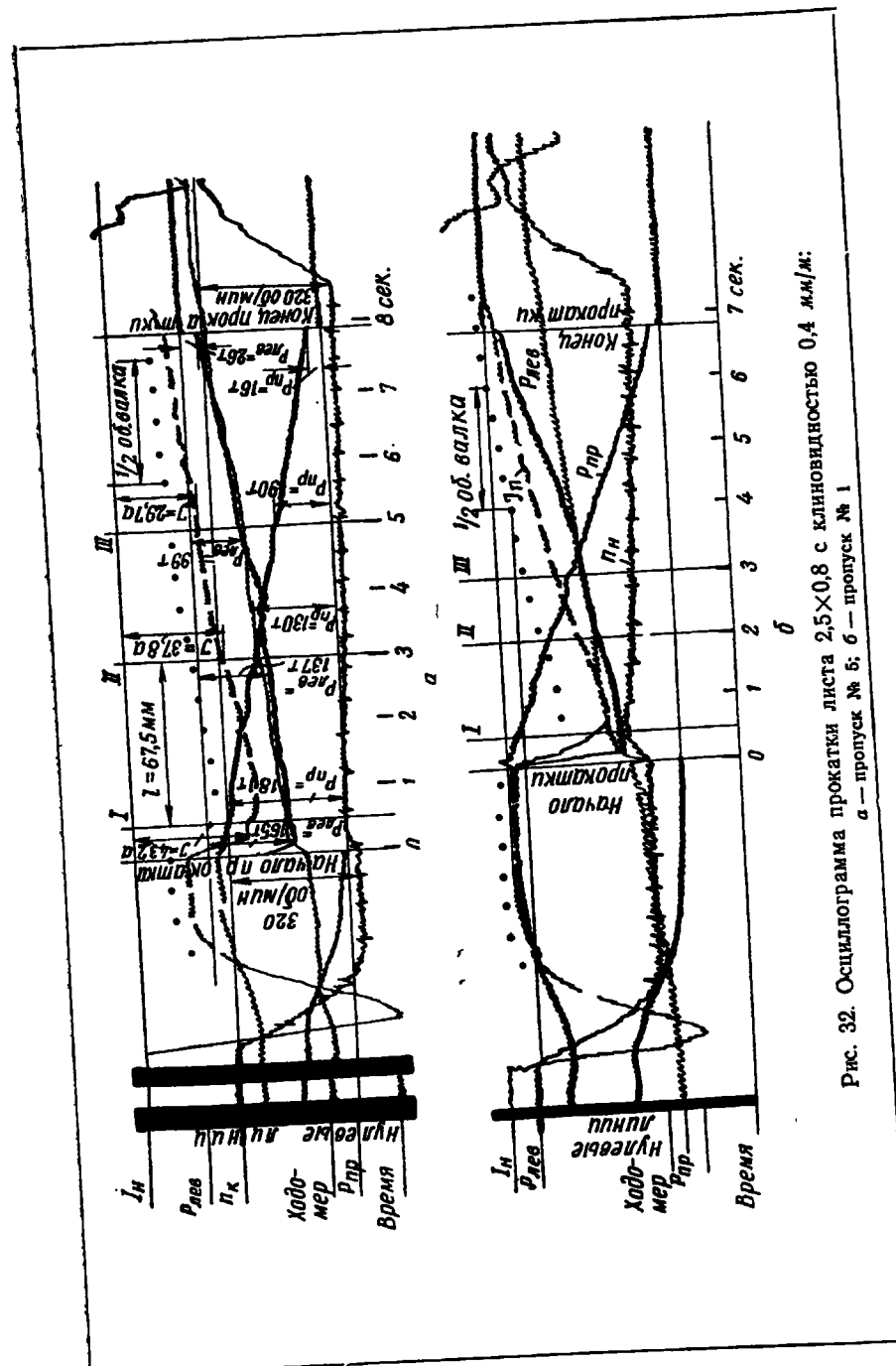


Рис. 32. Осциллограмма прокатки листа $2,5 \times 0,8$ с клиновидностью $0,4$ мм/м:
а — пропуск № 5; б — пропуск № 1

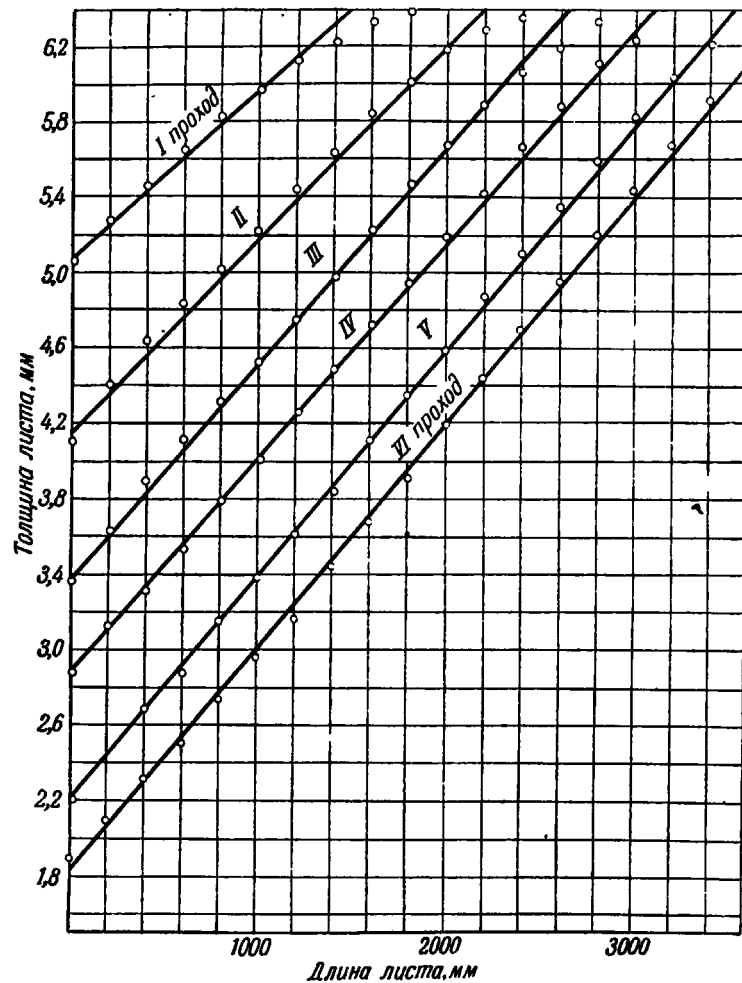


Рис. 33. Изменение толщины листа по проходам. Прокатка листа 6,4×2 мм при скорости двигателей нажимного устройства 700 об/мин за 6 проходов

прокатки, определяем, согласно приведенной ниже методике, обжатие в рассматриваемом сечении листа¹. При прокатке листа на участке x (рис. 34) сечение BN исходной заготовки переместится вправо на расстояние Δl ; следовательно, толщина листа до прокатки в рассматриваемом сечении будет

$$h_{ox} = H + (x - \Delta l) \operatorname{tg} \beta_1.$$

Принимая ширину листа равной единице, определяем объем смещенного металла:

$$V_{ABCD} = \frac{H - h + a - b}{2} x.$$

Объем V_{ABCD} равен объему V_{EFMN} , который может быть определен по уравнению

$$V_{EFMN} = \frac{a - \Delta l \cdot \operatorname{tg} \beta_1 + a}{2} \Delta l = \left(a - \frac{\Delta l}{2} \operatorname{tg} \beta_1 \right) \Delta l.$$

Вследствие постоянства объема смещаемого металла

$$V_{ABCD} = V_{EFMN}$$

получим

$$\Delta l = \frac{a}{\operatorname{tg} \beta_1} \pm \sqrt{\frac{a^2 - (H - h + a - b) x \operatorname{tg} \beta_1}{\operatorname{tg} \beta_1}}.$$

Заменяя $x \operatorname{tg} \beta_1 = a - H$ и подставляя полученное выражение Δl , находим

$$h_{ox} = \sqrt{H^2 + (h + b)(a - H)}. \quad (5)$$

Обжатие за проход в рассматриваемом сечении полосы будет

$$\Delta h_x = h_{ox} - b.$$

Зная полное давление металла на валок и обжатие за проход, определяем среднее удельное давление с учетом и без учета сплющивания валков. При этом длина дуги захвата с учетом сплющивания валков определяется по формуле:

$$l'd = \sqrt{R \Delta h + 2aRP_n}, \quad (6)$$

где R — радиус валка, мм;

P_n — давление на 1 мм ширины листа, кг/мм;

$$a = \frac{8(1 - \mu^2)}{\pi E};$$

μ — коэффициент Пуассона для материала валков;

E — модуль упругости материала валков, кг/мм².

¹ С. П. Грановский. Исследование прокатки полос переменного сечения. Машгиз, 1949.

Для стальных валков $a \approx \frac{1}{9500}$.

Среднее удельное давление металла на валки определялось по формулам:

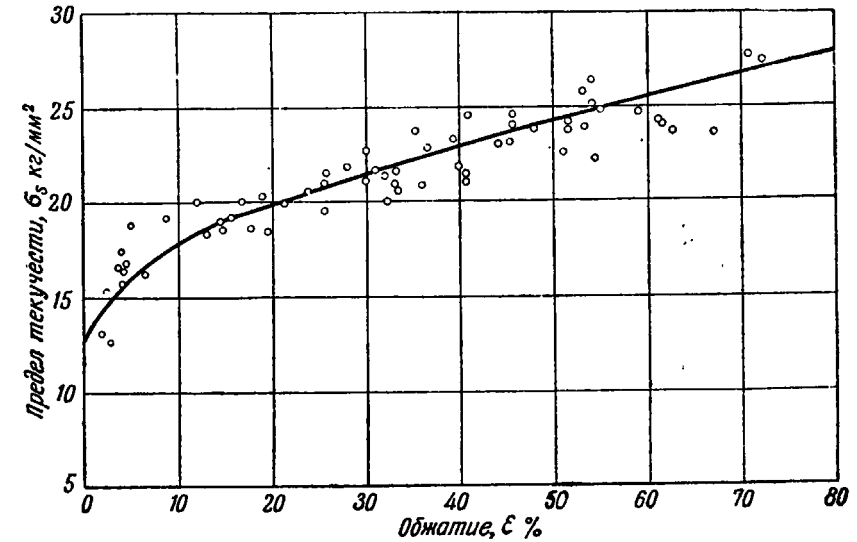


Рис. 35. Изменение предела текучести прокатанных листов из алюминиевого сплава Д16 в зависимости от обжатия

$$p_{\text{ср}} = \frac{P}{b \sqrt{R \Delta h}} = \frac{P_{\text{п}}}{\sqrt{R \Delta h}}, \text{ кг/мм}^2 \text{ — без учета сплющивания валка}$$

и

$$p_{\text{ср}} = \frac{P_{\text{п}}}{\sqrt{R \Delta h + 2aRP_{\text{п}}}}, \text{ кг/мм}^2 \text{ — с учетом сплющивания валка.}$$

Данные по средним удельным давлениям металла на валки приведены в табл. 2.

Из приведенных данных видно, что при малых обжатиях (точки III на каждой осциллограмме) средние удельные давления чрезмерно велики. Это может быть объяснено значительной неравномерностью обжатия по ширине листа вследствие большой выпуклости бочки валка.

Зависимость предела текучести сплава Д16 от обжатия, определенная по результатам механических испытаний образцов, взятых от прокатанных листов, представлена на рис. 35.

При расчете среднего удельного давления подбиралась величина коэффициента трения, при которой расхождения между

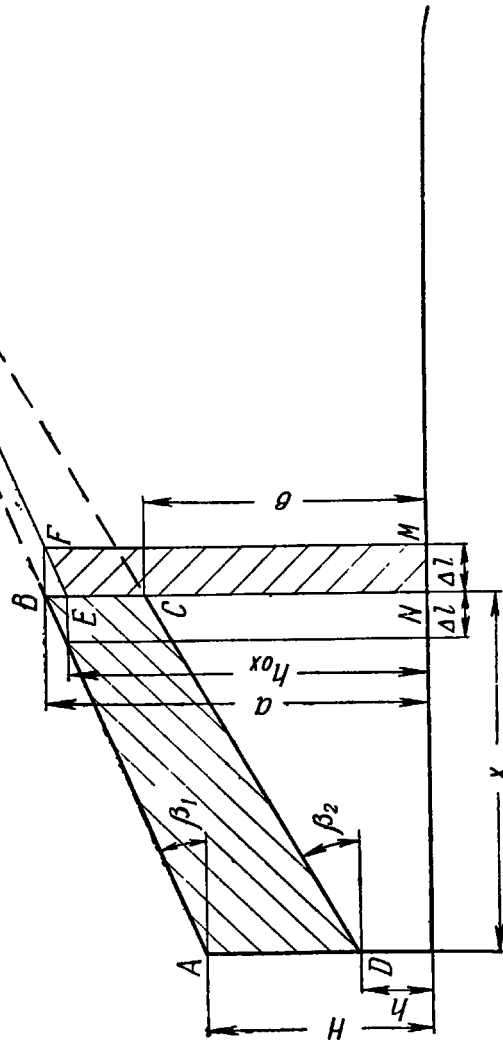


Рис. 34. Схема для определения начальной толщины листа h_{0x} при прокатке листов переменного сечения

Таблица 2

Экспериментальные данные по прокатке листов переменной сечения

Номер осциллограмм	Номер проходов	Расширяемая точка на осциллограмме	Толщина листа		Обжатие за один проход		Суммарное обжатие, %	Давление металла на валики $P_{\text{общ}}$, т	Среднее удельное давление (опытное)		Принятый коэффициент трения, μ	$\sigma_{\text{ср}}$, кг/мм ²	$P_{\text{ср.пачч}} = 1,18 \sigma_{\text{ср}}$	$P_{\text{ср.оп}}$
			до прокатки, мм	после прокатки, мм	Дл, мм	%,			без учета сплюсывания валика	с учетом сплюсывания валика				
Прокатка листа 2,5×0,8 мм; клиновидность 0,38 мм/м, ширина 760 мм														
1	I	I	1,86	0,52	21,8	56	21,8	482	50	44,5	0,3	16,6	53,1	0,94
		II	2,38	0,36	15,1	50	15,1	360	50	44,5		16,0	41,5	1,07
		III	2,14	0,24	10,1	49,8	10,1	293	43,3	43,3		15,5	33,9	1,28
2	II	I	1,85	0,29	15,65	69,0	34,4	442	57,7	57,7	0,3	21,1	65,5	0,88
		II	1,99	0,22	11,0	70,0	25,6	395	70,0	57,6		19,9	50,5	1,14
		III	2,10	0,19	9,05	65,0	19,7	340	53,2	53,2		18,9	45,6	1,16
3	III	I	1,54	0,32	20,8	119,0	48,8	811	102,0	102,0	0,3	23,0	105,5	0,973
		II	1,72	0,27	15,7	98,0	39,0	612	77,0	77,0		21,75	74,0	1,04
		III	1,83	0,23	12,6	99,5	32,7	571	77,0	77,0		20,8	61,0	1,26
4	IV	I	1,21	0,20	16,5	80,7	52,5	432	64,0	64,0	0,2	24,4	64,6	0,99
		II	1,45	0,155	11,0	72,1	47,5	340	57,0	57,0		23,3	51,0	1,12
		III	1,54	0,13	8,45	68,0	4,06	295	53,5	53,5		22,4	46,4	1,15
Прокатка листа 2,5×0,8 мм; клиновидность 0,6 мм/м, ширина 760 мм														
5	I	I	2,08	0,3	12,6	63,6	12,6	418	53,9	53,9		15,7	50,0	1,075
		II	2,38	0,24	10,0	57,3	10,0	336	48,6	48,6		15,5	42,8	1,135
		III	2,26	0,12	5,05	47,6	5,05	197	39,4	39,4		14,5	28,4	1,385

Продолжение табл. 2

Номер осциллограмм	Номер проходов	Расширяемая точка на осциллограмме	Толщина листа		Обжатие за один проход		Суммарное обжатие, %	Давление металла на валики $P_{\text{общ}}$, т	Среднее удельное давление (опытное)		Принятый коэффициент трения, μ	$\sigma_{\text{ср}}$, кг/мм ²	$P_{\text{ср.пачч}} = 1,18 \sigma_{\text{ср}}$	$P_{\text{ср.оп}}$
			до прокатки, мм	после прокатки, мм	мм	Дл, мм			%,	без учета сплюсывания валика				
Прокатка листа 2,5×0,2 мм; клиновидность 1,0 мм/м, ширина 760 мм														
9	I	I	2,38	2,18	0,2	8,4	8,4	281	52,5	44,6	0,3	15,25	35,1	1,27
		II	2,38	2,28	0,1	4,2	4,2	179	47,4	38,7		14,35	26,4	1,46
10	II	I	2,165	1,95	0,215	9,95	18,0	388	70,0	57,2	0,3	18,5	43,7	1,31
		II	2,26	2,08	0,18	8,0	12,6	299	58,9	48,3		17,1	35,4	1,365
		III	2,38	2,34	0,04	1,68	1,68	132,5	55,3	39,9		13,7	21,3	1,87
11	III	I	1,935	1,75	0,185	9,58	26,5	415	80,6	63,2	0,3	20,1	50,0	1,26
		II	2,06	1,89	0,17	8,26	20,6	352	71,5	57,0		19,1	47,1	1,21
		III	2,31	2,18	0,13	5,64	8,4	216	49,8	41,2		15,9	27,4	1,5

Продолжение табл. 2

Номер осциллограмм	Номер проходов	Раскачиваемая точка на осциллограмме	Толщина листа		Обжатие за один проход	%,	Суммарное обжатие, %	Давление металла на валик $P_{\text{общ}}$, т	Среднее удельное давление (опытное)		Принятый коэффициент трения, μ	$\sigma_{\text{ср}}$, кг/мм ²	$P_{\text{ср. расч.}} = 1,15 \sigma_{\text{ср}}$	$\frac{P_{\text{ср. расч.}}}{P_{\text{ср. оп.}}}$
			до прокатки мм	после прокатки, мм					без учета сплюснутости валика $P_{\text{ср. оп.}}$, кг/мм ²	с учетом сплюснутости валика				
Прокатка листа 4×1,5 мм, клиновидность 0,95 мм/м, ширина 760 мм														
12	I	I	4,15	3,56	0,59	14,2	14,2	518	56,4	50,7	0,4	15,9	40,2	12,6
		II	4,15	3,68	0,47	11,3	11,3	419	51,0	45,6		15,6	35,9	1,27
		III	4,15	3,95	0,20	4,82	4,82	233	48,6	41,0		14,5	23,4	1,75
13	II	I	3,55	3,32	0,23	6,5	20,0	536	93,2	72,8	0,4	19,3	38,9	1,87
		II	3,66	3,48	0,18	4,92	16,1	464	91,1	69,6		18,7	32,9	2,11
		III	3,92	3,79	0,13	3,32	8,7	313,5	72,2	56,0		16,8	28,0	2,0
14	III	I	3,3	2,85	0,45	13,6	31,3	608	75,8	65,0	0,4	20,7	59,5	1,09
		II	3,42	3,04	0,38	11,1	26,8	559,5	75,6	64,0		20,1	51,0	1,25
		III	3,72	3,42	0,3	8,08	17,6	490,5	75,5	62,6		18,5	39,4	1,59
15	IV	I	2,82	2,33	0,49	17,4	43,9	633,5	76,0	65,0	0,4	22,5	82,7	0,786
		II	2,97	2,54	0,43	14,5	38,8	591	73,6	63,0		21,85	71,7	0,88
		III	3,3	2,97	0,33	10,0	28,4	511	74,3	62,0		20,3	50,3	1,23
16		I	2,28	1,88	0,40	17,5	54,7	714	94,0	75,8	0,4	24,15	111,0	0,683
		II	2,46	2,10	0,36	14,6	49,4	678	94,0	76,1		23,45	85,0	0,896
		III	2,84	2,52	0,32	11,3	39,4	614	90,2	72,6		22,0	63,2	1,15

Продолжение табл. 2

Номер осциллограмм	Номер проходов	Толщина листа		Обжатие за один проход		Σ уд. обжатие, %	Давление металла на валик $P_{\text{общ}}$, т	Среднее удельное давление (опытное) $\sigma_{\text{ср.оп.}}$, кг/мм ²		Принятый коэффициент трения, μ	$\sigma_{\text{ср.пр.}}$, кг/мм ²	$P_{\text{ср.пр.}} = 1,15 \sigma_{\text{ср.пр.}}$	$\frac{P_{\text{ср.пр.}}}{P_{\text{ср.расч.}}}$	
		до прокатки, мм	после прокатки, мм	Δh , мм	%,			без учета сплюснутости валика	с учетом сплюснутости валика					
Прокатка листа 6,5×2,0 мм, клиновидность 0,42 мм/м, ширина 620 мм														
17	I	I	6,5	5,16	1,34	20,6	20,6	708	62,4	57,8	0,4	16,5	40,9	1,41
		II	6,5	5,51	0,99	15,2	15,2	560	57,8	52,9		16,0	35,0	1,50
		III	6,5	5,79	0,71	10,9	10,9	487	59,1	59,4		15,6	30,5	1,75
18	II	I	5,14	4,13	1,01	19,65	36,5	720	73,5	66,0	0,4	21,2	57,4	1,15
		II	5,42	4,55	0,87	16,0	30,0	614	67,6	60,5		20,7	47,5	1,27
		III	5,65	4,88	0,77	13,6	25,0	537	62,7	56,4		19,4	42,4	1,33
19	III	I	4,16	3,42	0,74	17,8	49,0	663	79,0	69,1	0,4	23,2	68,0	1,01
		II	4,47	3,84	0,63	14,1	41,0	528	68,0	60,0		22,7	54,8	1,09
		III	4,75	4,18	0,57	12,0	35,7	520	70,6	61,7		21,5	48,2	1,28
20	IV	I	3,39	2,78	0,6	17,7	57,3	693	91,4	77,6	0,4	24,6	80,7	0,964
		II	3,77	3,19	0,58	15,4	51,0	572	77,0	66,6		23,7	64,1	1,04
		III	4,06	3,52	0,54	13,3	46,0	533	74,4	64,0		23,0	55,5	1,15
21	V	I	2,64	2,18	0,46	17,4	66,5	605	91,1	76,0	0,4	25,7	99,0	0,77
		II	2,98	2,58	0,40	15,5	60,4	517	83,3	69,4		25,0	83,5	0,83
		III	3,25	2,9	0,35	12,0	55,4	484	83,7	69,0		24,4	67,4	1,02
22	VI	I	2,2	1,79	0,41	18,6	72,6	620	99,2	81,0	0,4	26,6	123,5	0,66
		II	2,54	2,2	0,34	13,9	66,3	574	100,0	80,0		26,0	94,4	0,848
		III	2,82	2,54	0,28	9,95	61,0	496	96,0	75,5		25,3	67,0	1,12

расчетными и опытными данными были минимальными. Результаты расчета представлены в табл. 2. Из сравнения расчетных и опытных данных по средним удельным давлениям металла на валки видно, что большинство расчетных величин $p_{\text{ср.расч}}$ удовлетворительно согласуются с опытными величинами $p_{\text{ср.оп}}$ при коэффициенте трения $\mu = 0,3—0,4$, что совпадает с имеющимися в литературе¹ данными.

Проведенное исследование позволяет сделать вывод о том, что принятая методика расчета усилий при прокатке листов переменного сечения (включая методику определения обжатия и контактной поверхности в любом сечении по длине клиновидного листа) дает результаты, удовлетворительно согласующиеся с опытными данными по давлению металла на валки.

Как уже упоминалось выше, при проведении испытаний на осциллограммах одновременно с давлением металла на валки фиксировался ток двигателя нажимного устройства (I_n), зная который можно определить момент на валу двигателей:

$$M = 2C\Phi \cdot I_n \text{ кгм}, \quad (7)$$

где $C\Phi$ — постоянная электродвигателя, определяемая по паспортным данным в зависимости от силы тока в обмотке возбуждения.

Согласно полученным экспериментальным данным по давлению металла на валки и моментам на электродвигателях привода нажимного устройства, приближенно определены значения коэффициента трения в резьбе и пяте нажимного винта:

$$\mu = 0,11 \div 0,13.$$

Полученные данные по величине коэффициента трения в резьбе и пяте нажимного винта также подтверждают правильность замеренных величин давления металла на валки при прокатке листов переменного сечения.

3. ВЛИЯНИЕ УПРУГОЙ ДЕФОРМАЦИИ ДЕТАЛЕЙ РАБОЧЕЙ КЛЕТИ НА ТОЧНОСТЬ РАЗМЕРОВ ЛИСТОВ ПЕРЕМЕННОГО СЕЧЕНИЯ

Зависимость деформации рабочей клетки от давления металла на валки, определенная экспериментальным путем, представлена на рис. 36.

Из рисунка видно, что при малых давлениях ($P < 30$ т) упругая деформация (γ) увеличивается быстрее, чем возрастает давление, но, начиная с усилия $P=30$ т и выше, наблюдается приблизительно линейная зависимость между деформацией

¹ А. И. Целиков, В. В. Смирнов. Прокатные станы. Металлургиздат, 1958; Н. Н. Крейдлин. Расчет обжатий при прокатке листов и лент из цветных металлов и сплавов. Metallurgizdat, 1950.

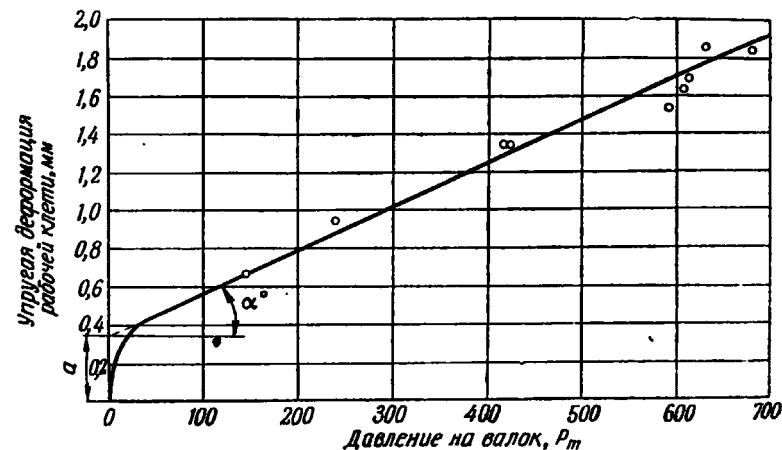


Рис. 36. Зависимость упругой деформации рабочей клетки стана 900 от давления металла на валки

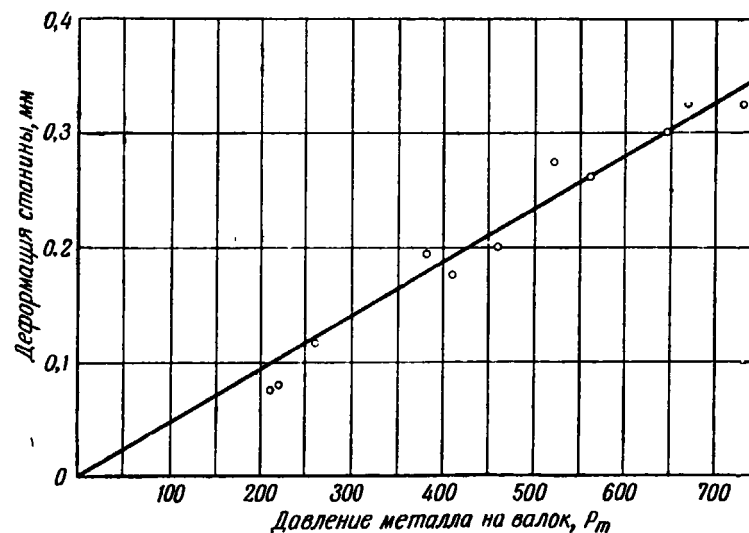


Рис. 37. Зависимость упругой деформации станины рабочей клетки стана дуо 900 от давления металла на валки

и давлением. Нелинейный характер зависимости $\gamma = f(P)$ при малых давлениях объясняется наличием зазоров в сопряжениях деталей и постепенным ростом величины площади соприкосновения стыков отдельных деталей рабочей клетки.

Для того чтобы определить, как распределяется общая деформация клетки между отдельными ее узлами, экспериментально исследовалась зависимость деформаций этих узлов от давления металла на валки.

Зависимость упругой деформации станины рабочей клетки от давления на валки представлена на рис. 37.

Как и следовало ожидать, деформация станины изменяется пропорционально изменению действующего усилия. При малых давлениях на валки ($P = 100$ т) деформация станины равна 0,05 мм, что составляет 10% от общей деформации рабочей клетки; при наибольших давлениях ($P = 700$ т) деформация станины равна 0,35 мм, или 17% от общей деформации рабочей клетки. Таким образом, деформация станины составляет всего 10—17% от общей деформации рабочей клетки стана. (Аналогичные результаты были получены в ЦКБММ при исследовании другого стана холодной прокатки — кварто 1680 мм.)

Зависимость деформации нажимного винта, гайки и стакана на ($\gamma_{н.в.}$); от усилия, действующего на валок, представлена на рис. 38. Из рисунка видно, что криволинейная зависимость деформации от давления наблюдается только при малых давлениях ($P < 200$ т) и объясняется постепенным увеличением площади соприкосновения стыков отдельных деталей.

Для определения отклонений между фактическим и расчетным профилем листа строим, по результатам замеров, график изменения толщины листа $h_n \varphi(L)$ (рис. 39). Расчетный профиль листа, а также изменение зазора между валками с учетом деформации нажимного винта, гайки и стакана определяются путем обработки данных, зафиксированных на осциллограмме. Зная давление прокатки при захвате листа, определяем расстояние между валками h_p перед входом листа в валки:

$$h_{p1} = h_{n1} - \gamma_1, \quad (8)$$

где h_{n1} — толщина переднего конца листа после прокатки;

γ_1 — упругая деформация деталей рабочей клетки в момент захвата листа валками.

Для того чтобы найти расстояние между валками в остальных рассматриваемых точках осциллограммы, по показаниям тахомашины $[n_n = f(t_{сек})]$ определяется путь, пройденный нажимными винтами:

$$S = \frac{F}{l} \frac{m}{60} t_x \frac{t_v}{t_n}, \quad (9)$$

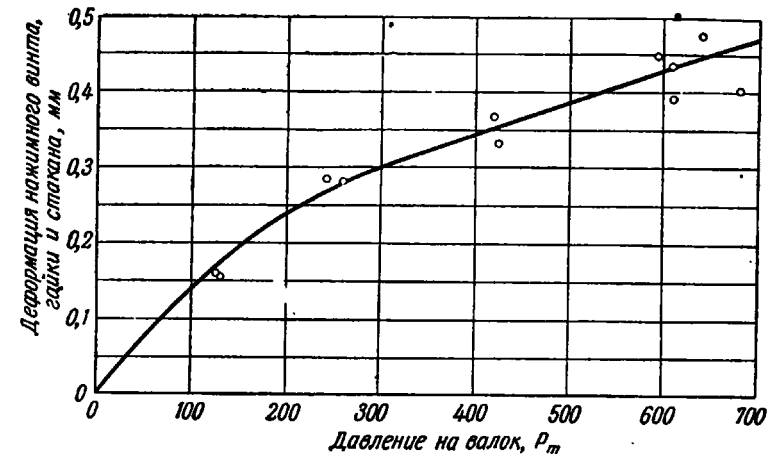


Рис. 38. Зависимость упругой деформации нажимного винта, гайки и стакана от давления металла на валки

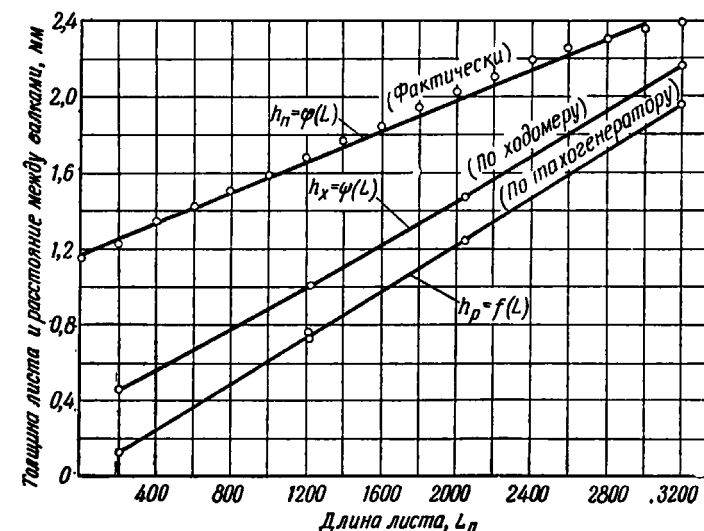


Рис. 39. Влияние упругой деформации рабочей клетки на точность прокатываемых листов

где F — площадь, ограниченная кривой $n_n = f(t_{\text{сек}})$ на участке между двумя рассматриваемыми точками осциллограммы (l);

m — масштаб кривой $n_n = f(t_{\text{сек}})$;

t_x — продолжительность прокатки рассматриваемого участка листа;

l — длина рассматриваемого участка осциллограммы.

Зная путь, пройденный нажимным винтом, находим расчетное расстояние между валками в данный момент прокатки:

$$h_{pII} = h_{pI} + S_{I-II}. \quad (10)$$

На основании полученных данных построен расчетный профиль клиновидного листа $h_p = f(L)$ и определены отклонения между фактическим и расчетным профилем листа.

Полученные отклонения сопоставляли с упругими деформациями рабочей клетки. Результаты экспериментальных исследований представлены в табл. 3.

Из приведенных данных видно, что отношение $\frac{h_n - h_p}{r}$ находится в пределах 0,9 — 1,1; это свидетельствует о том, что расхождения между расчетным и фактическим профилем листа определяется главным образом упругой деформацией рабочей клетки.

Сопоставляя графики $h_n \varphi(L)$ и $h_p = f(L)$, можно заключить, что упругая деформация рабочей клетки сохраняет прямолинейный профиль прокатываемого листа, но клиновидность листа уменьшается. При этом чем больше упругая деформация клетки, тем значительнее отклонения фактического профиля листа от расчетного.

Для определения влияния упругой деформации отдельных узлов рабочей клетки на точность прокатываемых листов переменного сечения ходомером, установленным на верхней подушке (см. рис. 31), записывались расстояния между валками h_x . Разность $h_x - h_p$ равна упругой деформации узла нажимных винтов, гаек и стаканов ($\gamma_{н.в.}$).

Зная величину отклонения от расчетного профиля, вызванную общей упругой деформацией рабочей клетки $h_n - h_p$, а также величину отклонений за счет упругой деформации станины ($\gamma_{ст}$) и узла нажимных винтов, гаек и стаканов ($h_x - h_p$), можно определить влияние упругой деформации узла валков и подушек (рис. 40) на геометрию прокатываемых листов переменного сечения:

$$\gamma_{в} = h_n - h_x - \gamma_{ст}. \quad (11)$$

Таблица 3

Экспериментальные данные о влиянии упругой деформации деталей рабочей клетки на точность прокатываемых листов переменного сечения

Номер осциллограмм	Номер проходов	Толщина листа после прокатки $h_{п}$, мм	Расстояние между валками h_p , мм	Давление металла на валки, Р, т	Упругая деформация деталей рабочей клетки γ , мм	$\frac{h_n - h_p}{r}$	Расстояние между валками по показаниям ходомера h_x , мм	Упругая деформация		
								станины $\gamma_{ст}$, мм	нажимного винта, гайки и стаканов $\gamma_{н.в.}$, мм	валков $h_n - h_x - \gamma_{ст} = \gamma_{в}$, мм
1	I	2,07 2,20 2,41	0,94 1,30 2,02	347 265 67	1,12 0,93 0,49	1,01 0,968 0,80	1,26 1,59 2,11	0,16 0,124 0,032	3,32 0,285 0,10	0,65 0,486 0,268
2	II	1,87 2,19 2,42	0,8 1,42 1,92	335 217 118	1,09 0,83 0,60	0,984 0,928 0,834	1,12 1,58 2,03	0,156 0,10 0,056	0,315 0,25 0,16	0,594 0,51 0,334
3	III	1,63 1,97 2,24	0,49 1,09 1,58	353 273 177	1,13 0,95 0,74	1,01 0,927 0,893	0,81 1,29 1,70	0,164 0,128 0,082	0,32 0,285 0,22	0,656 0,552 0,458
4	IV	1,43 1,83 2,13	0,23 0,85 1,35	386 283 204	1,20 0,98 0,80	1,0 1,0 0,976	0,57 1,08 1,45	0,18 0,132 0,095	0,335 0,29 0,247	0,68 0,618 0,585
5	V	1,235 1,678 2,02	0,13 0,74 1,24	346 267 189	1,12 0,94 0,76	0,923 1,0 1,0	0,45 0,99 1,46	0,16 0,12 0,088	0,32 0,285 0,23	0,625 0,568 0,472
6	VI	1,18 1,65 2,00	0,09 0,72 1,22	344 257 198	1,11 0,91 0,78	0,994 1,02 1,0	0,41 0,95 1,44	0,16 0,118 0,092	0,32 0,28 0,24	0,61 0,582 0,468
7	VII	0,99 1,46 1,80	0,04 0,65 1,12	271 213 152	0,95 0,82 0,68	1,0 0,988 1,0	0,33 0,87 1,25	0,126 0,10 0,072	0,285 0,25 0,20	0,534 0,49 0,478
8	VIII	0,76 1,20 1,55	0,48 0,08 0,54	404,5 317 245	1,25 1,05 0,88	0,994 1,066 1,15	0,13 0,38 0,78	0,188 0,146 0,114	0,345 0,305 0,270	0,702 0,674 0,656

Результаты определения влияния деформации отдельных узлов рабочей клетки на точность листов переменного сечения приведены в табл. 3.

Анализируя полученные экспериментальные данные можно отметить следующее.

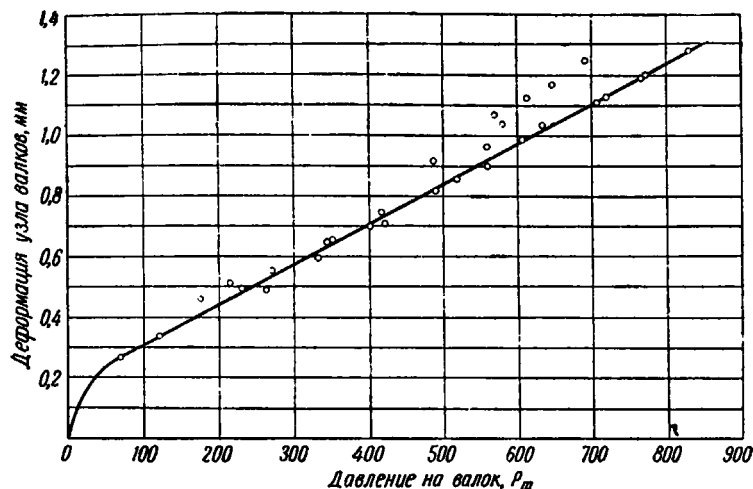


Рис. 40. Упругая деформация узла валков (валки, подушки, вкладыши) рабочей клетки стана 900

Отклонения профиля прокатанных листов переменного сечения от расчетного профиля вызываются упругой деформацией деталей рабочей клетки. Упругая деформация деталей рабочей клетки не искажает линейный закон изменения толщины прокатываемых листов переменного сечения. Небольшие отклонения наблюдаются лишь в конце прокатки листа при малых обжатиях и объясняются эти отклонения нарушением (при малых давлениях) линейной зависимости деформации от изменения давления в деталях рабочей клетки (прокатных валках, подушках, нажимных винтах, гайках и стаканах).

Относительное влияние упругой деформации отдельных узлов рабочей клетки на отклонения от расчетного профиля листа может быть охарактеризовано следующими данными (табл. 4).

Вследствие наличия упругой деформации деталей рабочей клетки клиновидность прокатываемых листов меньше расчетной, причем с увеличением разницы в деформациях между началом и концом прокатки листа отклонение фактической клиновидности листа от расчетной возрастает.

Таблица 4
Отклонения клиновидного листа от расчетного профиля

Давление металла на валок, т	Отклонения от расчетного профиля вследствие упругой деформации, %		
	станины	нажимных винтов, гаек и стаканов	узла валков с подушками
$P_{\max} = 700$	17	25	58
$P_{\min} = 100$	10	30	60

4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТИ ВРАЩЕНИЯ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ НАЖИМНОГО УСТРОЙСТВА С УЧЕТОМ УПРУГОЙ ДЕФОРМАЦИИ ДЕТАЛЕЙ РАБОЧЕЙ КЛЕТИ

Связь между отношением числа оборотов двигателей и расчетной клиновидностью листа, как было указано выше, определяется уравнением (1):

$$\frac{n_n}{n_b} = \frac{\pi D_b i_n}{i_b t_b} \operatorname{tg} \beta_{кл}.$$

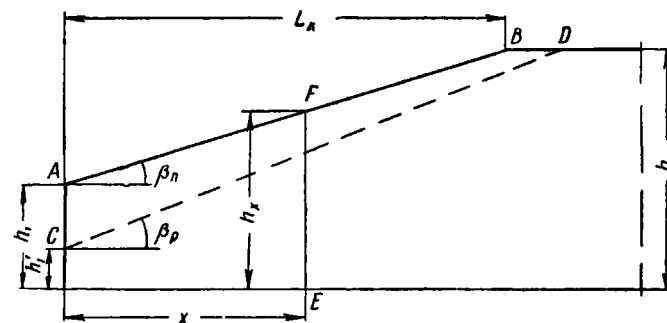


Рис. 41. График изменения толщины листа (AB) и расстояния между валками (CD), построенный без учета упругой деформации деталей стана

На рис. 41 представлен график изменения толщины листа (линия AB) и график изменения расстояния между валками (линия CD) (без учета упругой деформации деталей станины). Толщина листа в любом произвольном сечении равна

$$h_x = h_1 + x \operatorname{tg} \beta_n. \quad (12)$$

Расстояние между валками в момент прокатки рассматриваемого сечения полосы равно

$$h_x = h_1' + x \operatorname{tg} \beta_p + \gamma_x, \quad (12a)$$

где γ_x — упругая деформация рабочей клетки, равная

$$\gamma_x = a + bP_x; \quad (13)$$

h_1' — расстояние между валками перед началом прокатки, равное

$$h_1' = h_1 - a - bP_1;$$

P_1 — давление металла на валки в первый момент прокатки;

P_x — то же, при прокатке рассматриваемого сечения полосы.

Подставляя значения h_1' и γ_x в уравнение (12), находим:

$$h_x = h_1 - b(P_1 - P_x) + x \operatorname{tg} \beta_p. \quad (12b)$$

Приравняв правые части уравнений (12) и (12b), получим

$$\operatorname{tg} \beta_p = \operatorname{tg} \beta_n + \frac{b(P_1 - P_x)}{x}. \quad (14)$$

Как указывалось выше, давление металла на валки при прокатке клиновидных листов изменяется, приближенно, по линейному закону, следовательно, можно принять:

$$\frac{P_1 - P_x}{x} = \frac{P_1 - P_k}{L_n},$$

где P_k — давление на валки в конце прокатки листа. Отсюда уравнение (14) принимает вид:

$$\operatorname{tg} \beta_p = \operatorname{tg} \beta_n + \frac{b(P_1 - P_k)}{L_n}. \quad (14a)$$

Подставляя полученное выражение $\operatorname{tg} \beta_p$ в уравнение (1), получаем формулу для определения отношения чисел оборотов двигателей при заданных размерах клинового листа:

$$\frac{n_n}{n_b} = \frac{\pi D_b i_n}{t_b i_b} \left[\operatorname{tg} \beta_n + \frac{b(P_1 - P_k)}{L_n} \right]. \quad (15)$$

Если в расчете, кроме упругой деформации деталей рабочей клетки, учитывать также и опережение при прокатке (s), то приведенное выше уравнение принимает вид:

$$\frac{n_n}{n_b} = \frac{\pi D_b i_n}{t_b i_b} (1 + s) \left[\operatorname{tg} \beta_n + \frac{b(P_1 - P_k)}{L_n} \right]. \quad (16)$$

Однако опережение мало влияет на изменение клиновидности профиля, поэтому с достаточной степенью точности можно определять отношение $\frac{n_n}{n_b}$ по уравнению (15).

Для проверки уравнения (15) произведены подсчеты отношения $\frac{n_n}{n_b}$ при прокатке различных клиновидных листов.

При этом в формулу подставляли фактические размеры листа (h_0 , h_1 , L) и зафиксированные давления металла на валки P_1 и P_k , а также скорости двигателей n_n и n_b . Результаты расчетов представлены в табл. 5.

Из приведенных данных видно, что отношения между расчетными и опытными величинами $\frac{n_n}{n_b}$ близки к единице. Имеющиеся отклонения в пределах 0,9—1,1 могут быть объяснены некоторой неточностью измерения усилий на валках и чисел оборотов двигателей при проведении данных испытаний.

В предложенную формулу для определения скоростей двигателя нажимного устройства при заданной клиновидности листа входят давления металла на валки в начале и в конце прокатки листа (P_1 и P_k). Определение этих величин обычно затруднено, и вследствие этого в производственных условиях для быстрой корректировки числа оборотов двигателей может быть рекомендован другой, более простой метод расчета. Для этой цели прокатывается пробный клиновидный лист, причем обжатие на переднем конце листа принимается таким же, как и в намеченной схеме обжатий. При прокатке пробного листа фиксируется скорость двигателей привода нажимного устройства.

Допустим, что из заготовки толщиной H_0 (рис. 42) необходимо прокатать клиновидный лист, имеющий профиль $ABPK$. Длина требуемого клиновидного листа L_n и клиновидность его $\operatorname{tg} \beta_n$, причем $L_n = \frac{h_0 - h_1}{\operatorname{tg} \beta_n}$.

Тогда требуемое отношение скоростей двигателя стана определяется уравнением (15), в котором обозначим выражения

$$\frac{\pi D_b i_n}{t_b i_b} = a;$$

тогда

$$\frac{n_n}{n_b} = a \left[\operatorname{tg} \beta_n + \frac{b(P_1 - P_k)}{L_n} \right]. \quad (16a)$$

Допустим, что при прокатке пробного листа с клиновидностью $\operatorname{tg} \beta_{оп}$ длина заготовки выбрана таким образом, что, прокатав ее, получим лист профиля $ADFK$. При этом давления металла на валки в начале и в конце прокатки (P_1 и P_k) пробного

Экспериментальные и расчетные данные по давлению металла на валки и по скорости вращения электродвигателей стана дуо 900

Номер листа	Давление металла на валки		Размеры клиновидного листа мм			Клиновидность листа $\text{tg} \beta_n = \frac{h_0 - h_1}{L_n}$	Скорость двигателей нажимного устройства n_n об/мин	Скорость главного двигателя стана n_b об/мин	$\left(\frac{n_n}{n_b}\right)$ опытные	По формуле (16) $\left(\frac{n_n}{n_b}\right)$ расчетные	$\left(\frac{n_n}{n_b}\right)$ опытные	$\left(\frac{n_n}{n_b}\right)$ расчетные
	в начале прокатки листа $P_1, \text{т}$	в конце прокатки листа $P_k, \text{т}$	h_0	h_1	L_n							
1	347	16	2,42	2,01	1800	0,000228	292	590	0,495	0,512	0,968	0,968
2	335	20	2,45	1,83	2100	0,000295	296	590	0,501	0,505	0,995	0,995
3	353	40	2,42	1,56	2600	0,000330	302	590	0,512	0,48	1,065	1,065
4	386	40	2,38	1,36	2780	0,000368	300	590	0,510	0,515	0,99	0,99
5	346	42	2,38	1,18	3000	0,00040	299	590	0,508	0,5	1,015	1,015
6	344	40	2,44	1,1	3050	0,00044	304	590	0,516	0,53	0,976	0,976
7	271	40	2,35	0,93	3270	0,000435	296	590	0,501	0,471	1,06	1,06
8	404,5	135	2,28	0,68	3800	0,000436	280	590	0,475	0,459	1,03	1,03

и требуемого листа будут соответственно равны, а длина пробного листа определится выражением:

$$L_{\text{он}} = \frac{h_0 - h_1}{\text{tg} \beta_{\text{он}}}.$$

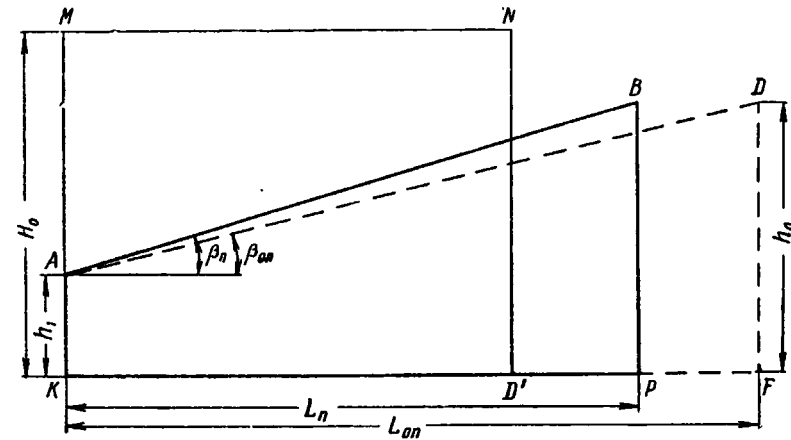


Рис. 42. График для определения соотношения скорости прокатки и скорости вращения двигателей нажимного устройства с учетом упругой деформации деталей стана

Подставляя L_n и $L_{\text{он}}$ находим:

$$\begin{aligned} \text{а) } \frac{n_n}{n_b} &= a \left[\text{tg} \beta_n + \frac{b(P_1 - P_k) \text{tg} \beta_n}{h_0 - h_1} \right] = a \text{tg} \beta_n \left[1 + \frac{b(P_1 - P_k)}{h_0 - h_1} \right]; \\ \text{б) } \frac{h'_n}{h_b} &= a \left[\text{tg} \beta_{\text{он}} + \frac{b(P_1 - P_k) \text{tg} \beta_{\text{он}}}{h_0 - h_1} \right] = a \text{tg} \beta_{\text{он}} \left[1 + \frac{b(P_1 - P_k)}{h_0 - h_1} \right], \end{aligned}$$

откуда получаем

$$n_n = n'_b \frac{\text{tg} \beta_n}{\text{tg} \beta_{\text{он}}}. \quad (17)$$

Таким образом, прокатав пробный лист с таким же обжатием на переднем конце листа, как для требуемого клиновидного листа, и зафиксировав при этом скорость двигателя нажимного устройства (n_n) и полученную клиновидность листа ($\text{tg} \beta_{\text{он}}$) можно определить требуемое число оборотов двигателя (n_b) для получения заданной клиновидности листа. Экспериментальная проверка предложенного метода подтвердила его пригодность для практического использования при настройке стана на прокатку листов заданной клиновидности.

Глава III

ПРОКАТКА ЛИСТОВ ПЕРЕМЕННОГО СЕЧЕНИЯ С НАТЯЖЕНИЕМ

При прокатке листов переменного сечения непрерывно изменяется давление металла на валки, вследствие чего изменяется упругая деформация валков. Это приводит к появлению хлопунков, гофра и к короблению прокатываемых листов. Известно, что при прокатке обычной полосы натяжение предотвращает появление указанных дефектов и способствует получению гладкой поверхности. В связи с этим целесообразно осуществить прокатку листов переменного сечения с натяжением. При прокатке штучных листов с натяжением нельзя использовать намоточно-натяжные барабаны, применяемые на обычных лентопрокатных станах, так как при этом большая часть листа (начиная с переднего конца) будет прокатываться без натяжения. Поэтому устройство для прокатки штучных листов с натяжением должно обеспечить захват листа на ходу (по выходе из валков) и быстрое возрастание усилия натяжения до заданной величины. Необходимо также обеспечить плавное приложение натяжения к прокатываемому листу, так как при ударном приложении нагрузки появляется опасность обрыва прокатываемых листов. Толщина листа переменного сечения непрерывно изменяется, поэтому для обеспечения постоянного удельного натяжения, общее усилие, прилагаемое к переднему концу листа, должно изменяться в процессе прокатки. Листы переменного сечения можно прокатывать и с постоянным общим усилием натяжения, но тогда удельное натяжение в процессе прокатки будет изменяться.

Впервые конструкция натяжного устройства для прокатки штучных листов была разработана ВНИИМЕТМАШ и установлена на стане дуо 900¹, предназначенном для прокатки клиновых листов из легких сплавов.

1. НАТЯЖНОЕ УСТРОЙСТВО

Основными узлами натяжного устройства (рис. 43) являются: зажимной механизм 1, натяжная каретка 2 и привод ее 3.

¹ Натяжное устройство разработано под руководством инж. В. Л. Добкина, по предложению и при участии автора и С. П. Грановского.

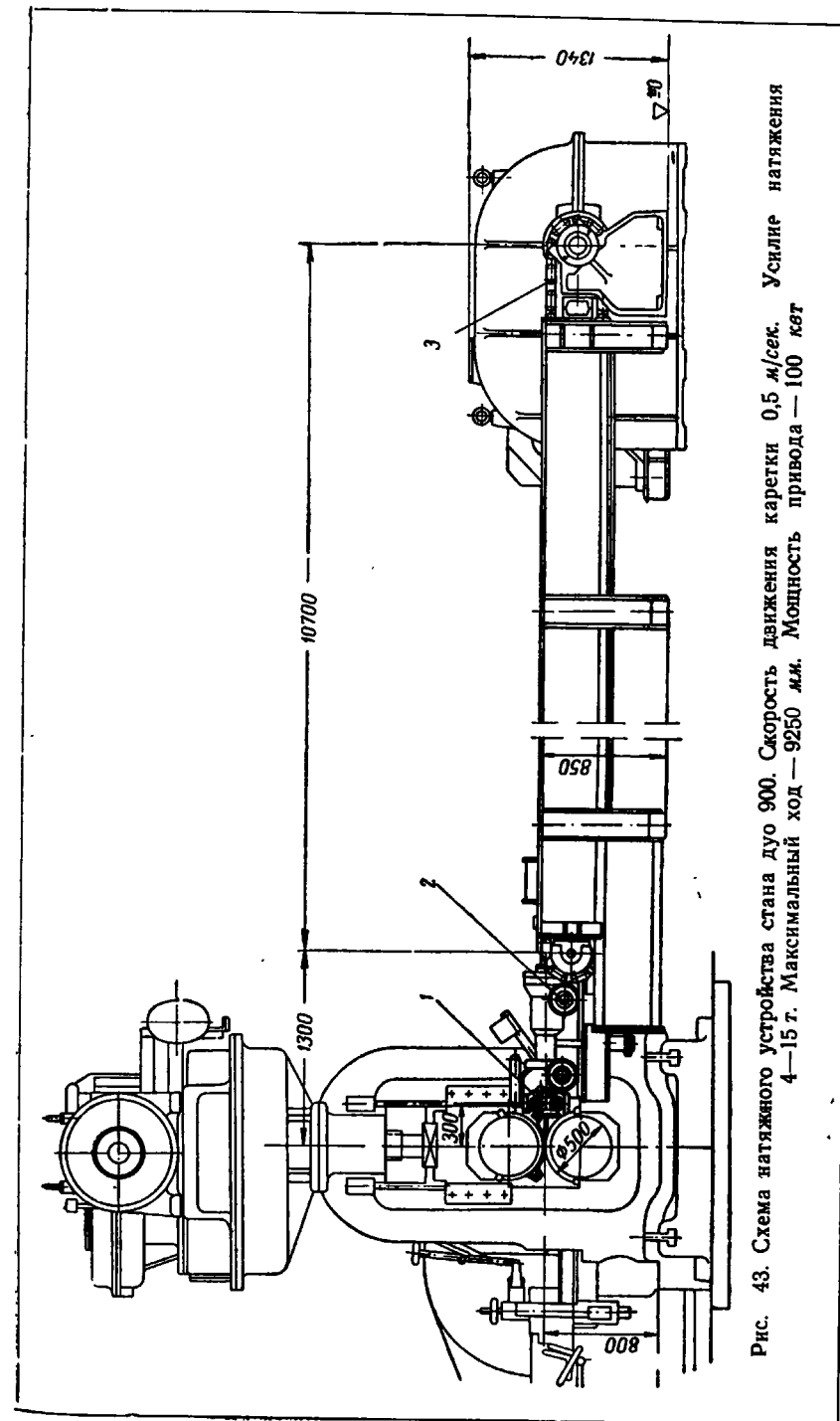


Рис. 43. Схема натяжного устройства стана дуо 900. Скорость движения каретки 0,5 м/сек. Усилие натяжения 4—15 т. Максимальный ход — 9250 мм. Мощность привода — 100 кет

Рама натяжного устройства представляет собой металлоконструкцию, состоящую из двух сварных балок (левой и правой), соединенных между собой в нижней части траверсами. Рама предназначена для восприятия усилия натяжения и служит опорой для направляющих, по которым перемещается каретка.

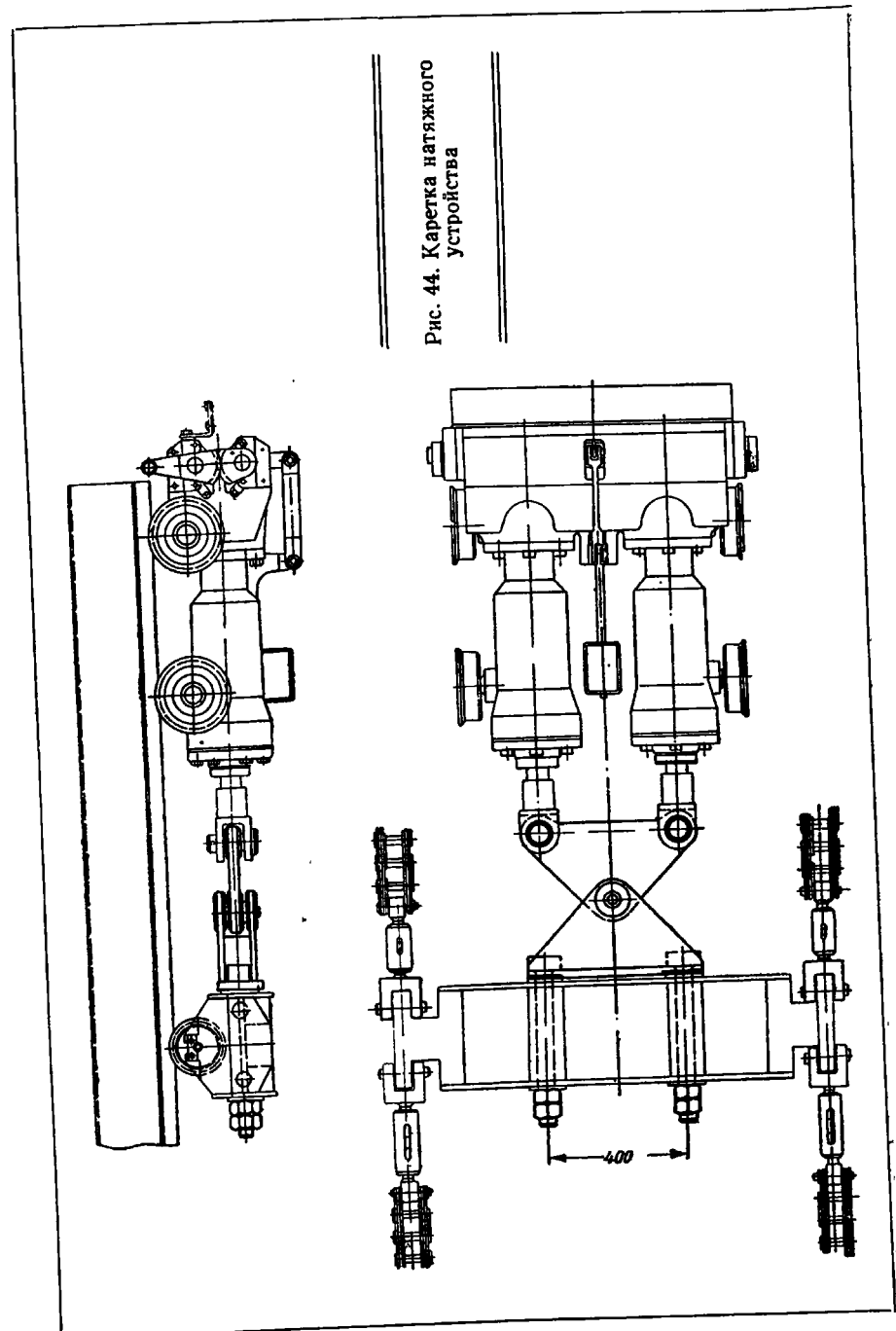
Передней своей частью рама упирается в станину прокатного стана и на ней закреплены холостые звездочки цепной передачи. На противоположном конце рамы закреплены опоры для вала приводных звездочек цепной передачи. Внутри рамы, между рельсами, по которым движется каретка, вмонтирован рольганг, транспортирующий прокатанный лист по выходе его из валков. Между роликами рольганга размещен подъемный стол, с помощью которого прокатанный лист поднимается на уровень боковой стенки рамы для удобства съема его рабочими.

Для удержания листа в натянутом состоянии (в процессе его прокатки) служит каретка (рис. 44). На каретке смонтированы механизм захвата (рис. 45) и гидробуфер (рис. 46)¹.

Захват листа осуществляется губками, которые закрываются под действием груза, действующего на систему рычагов. Раскрываются губки в переднем положении каретки (у валков) путем поднятия груза пневматическим цилиндром, закрепленным на раме натяжного устройства. Для смягчения удара в процессе приложения натяжения на каретке смонтирован гидробуфер.

Гидробуфер (рис. 46) состоит из двух цилиндров 1, соединенных с поперечиной каретки, в которой смонтирован механизм захвата листа, и демпфера 2. Передача тянущего усилия осуществляется через штоки этих цилиндров, связанных балансиrom (с предохранительным пальцем) с балкой, перемещающейся на катках по рельсам и приводимой в движение двумя пластинчатыми цепями. При приложении натяжения находящееся в цилиндрах масло выдавливается в главный цилиндр демпфера. При этом масло под поршнем цилиндра демпфера сжимается до тех пор, пока оно не преодолеет сопротивление клапана, устанавливаемого затяжкой пружины, действующей на клапан. Как только это сопротивление будет преодолено, масло из под поршня демпфера вытекает в освобождающуюся полость под поршнями двух гидроцилиндров. При подходе каретки к валкам, при обратном ее ходе и остановке у упора, штоки цилиндров движутся в противоположном направлении и масло из под поршней выдавливается в цилиндр демпфера через обратный клапан 3. Благодаря наличию гидробуфера тянущее усилие прикладывается к листу плавно и величина его регулируется затяжкой пружины. Каретка движется на четырех катках по рельсам, закрепленным на раме. Привод каретки осуществляется от элект-

¹ Конструкция гидробуфера разработана Б. Ф. Романчиковым.



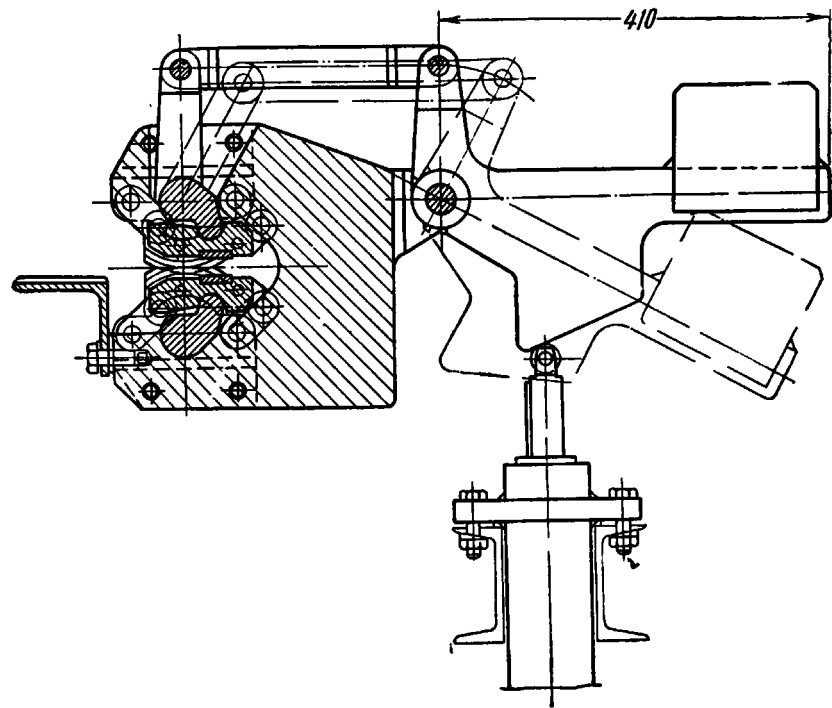


Рис. 45. Механизм захвата листа

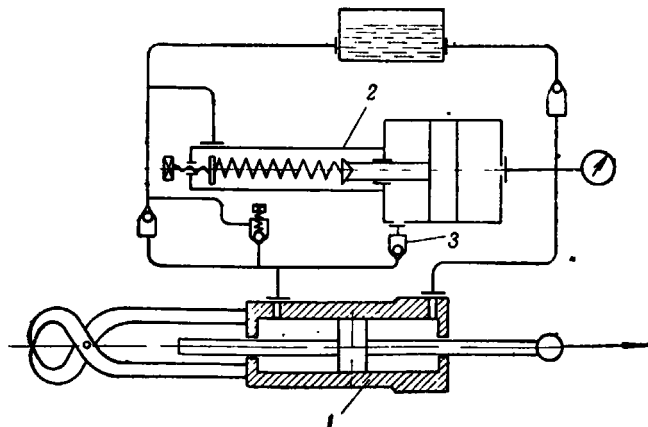


Рис. 46. Схема гидробуфера

родвигателя постоянного тока мощностью 100 квт через двухступенчатый редуктор $i=15,75$. Выходной вал редуктора соединен с валом, на котором насажены звездочки цепной передачи. Работа стана с натяжным устройством осуществляется следующим образом: каретка подводится в крайнее переднее положение — к валкам. Автоматически включается пневматический цилиндр, с помощью которого раскрываются губки механизма захвата листа. Стол задачи листа в валки при определенном растворе валков совершает движение, при котором зажатый прижимом лист захватывается валками, а конечный выключатель, установленный на пути стола, дает импульс на включение (с определенной выдержкой времени) пневматического цилиндра механизма захвата листа и привода каретки. Груз механизма захвата падает и смыкающимися губками производится захват переднего конца листа, а каретка начинает двигаться в сторону, противоположную валкам.

Так как скорость движения каретки после разгона превышает установленную скорость прокатки, то создается натяжение в листе.

Остановка каретки после прохода всего листа через валки производится на расстоянии, несколько большем, чем длина листа. Для свободного вытаскивания листа губки раскрываются под действием бокового рычага механизма захвата, который наезжает на линейку, установленную на раме натяжного устройства. После того как прокатанный лист вынут из губок, включаетс^я подъемный стол, поднимающий лист для удобства снятия его с рольганга. Затем подъемный стол опускается, а каретка и стол задачи возвращаются в исходное положение для прокатки нового листа.

Прокатку можно проводить как с переменным, так и с постоянным усилием натяжения. При работе с постоянным натяжением величина натяжения определяется установкой реостата сельсинного потенциал-регулятора, которая в процессе прокатки листа остается неизменной. В этом случае величина натяжения ограничивается прочностью тонкого конца листа.

Переменное (уменьшающееся) натяжение к концу прокатки может быть осуществлено путем приложения усилия как к тонкому, так и к толстому концам листа. Для этого необходимо включить в работу сельсин-датчик и приемник. Сельсин-датчиков имеется два. Один датчик работает в зависимости от изменения раствора валков, второй — в зависимости от изменения длины прокатанной части листа.

Сельсин-приемник установлен в машинном зале на сельсинном потенциал-регуляторе и через редуктор (с несколькими передаточными числами) приводит во вращение ползун кругового реостата, изменяя тем самым сопротивление в обмотке возбуж-

дения амплитуды и, как следствие этого, скорость двигателя натяжного устройства. Величина натяжения является функцией скорости двигателя натяжного устройства. Таким образом, с изменением сопротивления на круговом реостате меняется величина натяжения. Скорость изменения величины натяжения по длине листа будет зависеть от передаточного числа редуктора сельсинного потенциал-регулятора.

При проведении опытных работ были испытаны два способа прокатки листов с натяжением: 1) прокатка толстым концом листа вперед со сближением валков в процессе прокатки; 2) прокатка тонким концом листа вперед с разведением валков в процессе прокатки.

При первом способе прокатки предполагалось создать постоянное удельное натяжение листа, а при втором способе постепенно уменьшающееся усилие натяжения к концу прокатки каждого листа. В первом случае выкатка листов должна улучшаться вследствие изменения опережения по ширине листа за счет приложения натяжения. Во втором случае упругая деформация валков, а следовательно, и вытяжка по ширине листа должны быть постоянными ввиду постоянства усилия на валках.

При прокатке листов переменного сечения без натяжения усилие на валках при прокатке тонкого конца листа обычно больше, чем при прокатке толстого конца листа. Задавая наибольшее усилие натяжения в момент прокатки тонкого конца листа и постепенно снижая натяжение к моменту прокатки толстого конца листа, предполагалось достигнуть приблизительно постоянного усилия на валках в течение всего прохода. При прокатке клиновидных листов с натяжением тонким концом листа вперед предполагалось также осуществить правку растяжением переднего конца листа, прокатываемого без натяжения.

Опытная прокатка клиновидных листов с натяжением по указанным выше режимам показала, что наиболее целесообразной является прокатка толстым концом листа вперед. При задаче толстым концом листа обеспечивается наиболее надежный захват листа кареткой натяжного устройства. При ударном приложении нагрузки наибольшее усилие воспринимается самой прочной частью листа, вследствие чего исключаются обрывы листов при прокатке с натяжением. При правильно подобранной схеме обжатия можно прокатку клиновидных листов осуществлять таким образом, чтобы передняя часть листа прокатывалась ровной и без приложения натяжения, а остальная часть листа прокатывалась ровной благодаря применению натяжения.

Применение второго режима (прокатка тонким концом листа вперед) положительных результатов не дала, так как колебание усилия натяжения в пределах от 0 до 15 т заметного изменения усилия на валках не вызывало. Передний конец листа не вы-

правлялся, так как усилие натяжения было недостаточным, чтобы осуществить пластическую деформацию листа. Наиболее эффективно выравнивание усилия на валках достигнуто применением соответствующей схемы обжатия листов переменного сечения, при которой листы в первых проходах прокатывались с большей клиновидностью, а в последних проходах с меньшей клиновидностью. При этом в последних проходах обжатие на тонком конце листа уменьшалось, а на толстом конце листа увеличивалось, что и приводило к выравниванию усилия на валках.

Опытная прокатка проводилась с натяжением как по всем проходам, так и комбинированным способом — в первых проходах листы прокатывались без натяжения, а в последних проходах с натяжением. Качество выкатки листов было в обоих случаях одинаковым, но при прокатке с натяжением во всех проходах, вследствие увеличения вытяжки, удавалось сократить 1—2 прохода.

Таким образом, в результате проведенных опытов выбран наиболее целесообразный режим прокатки листов с натяжением, при котором прокатка ведется толстым концом листа вперед. При этом усилие натяжения сохраняется постоянным или постепенно уменьшается к концу прокатки клиновидного листа и, таким образом, удельное натяжение при этом сохраняется приблизительно постоянным.

2. ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПРОКАТКИ КЛИНОВИДНЫХ ЛИСТОВ С НАТЯЖЕНИЕМ

Основным назначением натяжного устройства является получение при прокатке ровных и гладких листов, поэтому при исследовании процесса проводили сравнение качества листов переменного сечения, прокатанных с натяжением и без натяжения. Ровность листа определяли измерением отставания листа от контрольной плиты. Результаты замеров клиновидных листов размером $1,6—3 \times 720 \times 3400$ мм, прокатанных из алюминиевого сплава Д16 с натяжением и без натяжения представлены в табл. 6.

Из приведенных данных видно, что при применении натяжения уменьшилось отставание листов от контрольной плиты. Так, среднеарифметическая величина отставаний по длинным кромкам листа уменьшилась с 32 до 19 мм, а по коротким кромкам с 54 до 6 мм. Уменьшилось также наибольшее отставание листа от плиты. Приведенные данные наглядно показывают, что применение натяжения значительно улучшает качество листов и обеспечивает получение со стана ровных листов переменного сечения, которые после последующей отделки могут быть использованы в качестве обшивочного материала.

Таблица 6

Отставание от контрольной плиты листов переменного сечения, прокатанных с натяжением и без натяжения

Способ прокатки	Номер листа	Максимальное отставание от контрольной плиты мм			
		длинные кромки		короткие кромки	
		толстый конец листа	тонкий конец листа	толстый конец листа	тонкий конец листа
С натяже- нием	1	36	26	0	36
	2	15	19	0	0
	3	12	15	22	20
	4	12	15	0	0
	5	14	18	41	0
	6	26	16	19	0
	7	25	16	25	0
	8	18	20	32	0
	9	15	20	20	0
	10	21	14	21	0
	11	25	40	24	0
	12	27	35	12	0
	13	30	29	0	33
	14	18	14	0	0
	15	19	17	17	0
	16	17	15	18	0
	17	20	15	32	0
	18	5	5	25	0
	19	16	17	15	0
	20	19	20	20	0
Без натя- жения	21	24	18	0	32
	22	20	17	0	33
	23	33	28	0	53
	24	28	14	0	24
	25	20	10	0	32
	26	39	38	0	71
	27	40	35	0	68
	28	54	51	0	104
	29	23	37	0	45
	30	29	16	0	30
	31	45	38	0	60
	32	22	20	0	48
	33	32	23	0	45
	34	50	44	0	73
	35	60	51	0	85

Наряду с исследованием влияния натяжения на качество прокатываемых листов изучали также величину и характер изменения усилия натяжения при прокатке, влияние усилия натяжения на давление металла на валки и определяли время разгона

каретки натяжного устройства, по которому можно определить минимальную длину переднего конца листа, прокатываемого без натяжения.

Для изучения процесса на осциллограммах одновременно фиксировались основные величины, характеризующие прокатку листов с натяжением: а) давление металла на валки $P=f(t)$, измеряемое с помощью проволоочных датчиков, наклеенных на стойки станины рабочей клетки стана; б) усилие натяжения листа $T=f(t)$, измеряемое с помощью проволоочных датчиков, наклеенных на вал приводных звездочек натяжного устройства; в) ток двигателя натяжного устройства $I=f(t)$; г) скорость вращения двигателя натяжного устройства $n_n=f(t)$, измеряемая с помощью тахомашины; д) перемещение штоков гидробуфера $S=f(t)$, измеряемое ходомером; е) скорость вращения прокатных валков, измеряемая контактной шайбой, установленной на валке.

Для проведения опытных работ прокатывали листы переменного сечения с включенным и выключенным гидробуфером.

На рис. 47 представлена типовая осциллограмма процесса прокатки листа при отключенном гидробуфере. Момент задачи листа в валки (сечение I), определяется скачком кривых $P_{лев}=f(t)$ и $P_{пр}=f(t)$. При выходе листа из валков давление на валки падает до нуля, что также фиксируется скачком кривых ($P_{лев}=f(t)$ и $P_{прав}=f(t)$). При задаче листа в валки включается двигатель привода каретки натяжного устройства. Начало движения каретки отмечено на осциллограмме (сечение II) отклонением кривых $n_n=f(t)$ и $T=f(t)$.

Промежуток времени между захватом листа валками и началом движения каретки регулируется установкой реле выдержки времени. При нормальном процессе прокатки за этот промежуток времени передний конец листа проходит путь от зева валков до губок захвата каретки, после чего каретка начинает разгоняться.

В период разгона каретки до скорости прокатки на листе образовывается небольшая петля, так как лист выходит из валков с постоянной скоростью, а каретка разгоняется постепенно. Когда скорость перемещения каретки превысит скорость прокатки (сечение III) начинает выбираться петля. Далее скорость движения каретки продолжает возрастать, достигая величины, превышающей скорость прокатки приблизительно на 30%, и когда петля полностью устраняется, мгновенно возрастает усилие натяжения (сечение IV).

Вначале усилие натяжения достигает установленной величины, а затем, вследствие резкого падения скорости и вызванной этим разрядки маховых масс привода каретки, усилие натяжения продолжает возрастать до максимальной величины. Ско-

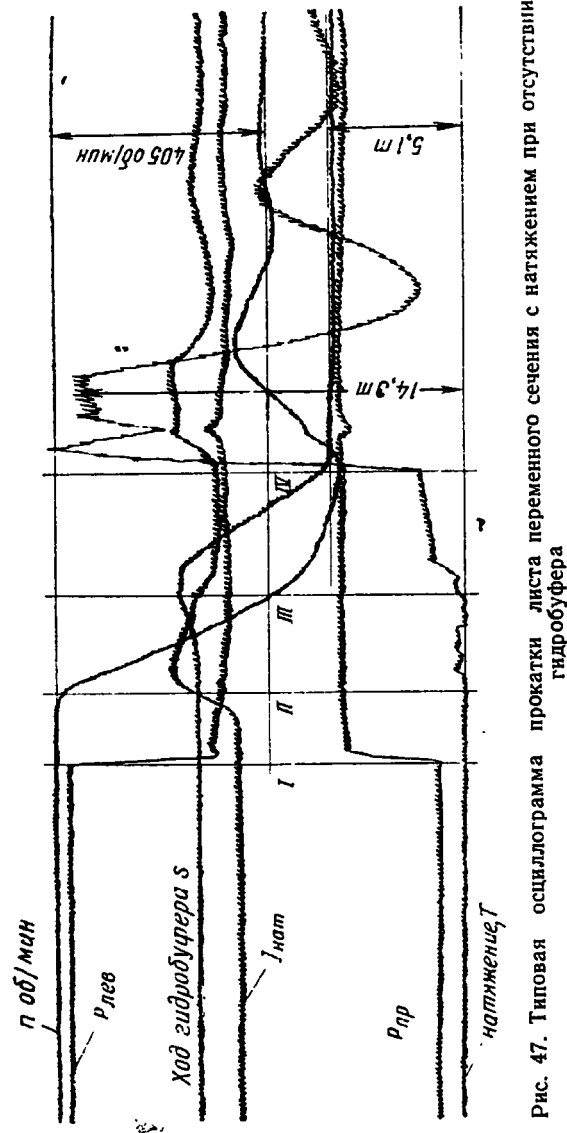


Рис. 47. Типовая осциллограмма прокатки листа переменного сечения с натяжением при отсутствии гидробуфера

рость же движения каретки постепенно уменьшается, достигая скорости прокатки, но усилие натяжения в этот момент еще продолжает сохранять максимальное значение. Вследствие этого скорость двигателя уменьшается, становясь меньше скорости прокатки. В дальнейшем, так как скорость движения листа становится меньше скорости прокатки, усилие натяжения листа снова падает, а когда нагрузка на двигателе снижается до номинальной, скорость его снова возрастает. Таким образом, при отключенном гидробуфере наблюдается колебательный процесс изменения усилия натяжения, причем амплитуда колебания усилия постепенно затухает. На осциллограммах одновременно фиксировался ток двигателя натяжного устройства, изменения которого соответствовали колебанию усилия натяжения в процессе прокатки.

Из рассмотрения кривых $P_{лев} = f(t)$ и $P_{пр} = f(t)$, фиксирующих на осциллограммах давление металла на валки, видно, что значительное изменение усилия натяжения не вызывает резкого изменения общего давления металла на валки, так как при этом, по-видимому, изменяется обжатие прокатываемого листа.

Осциллограмма процесса прокатки с натяжением клиновидного листа, снятая при включенном гидробуфере, представлена на рис. 48. Как видно из осциллограммы, усилие натяжения постепенно возрастает, достигая максимальной величины в момент окончания выборки петли, и затем постепенно падает в соответствии с уменьшением толщины прокатываемого листа. Таким образом, наличие гидробуфера устраняет колебание усилия натяжения при прокатке, что способствует получению со стана ровных листов, без хлопунцов и гофра. Удельное натяжение (σ_1) при прокатке листов из сплава Д16 колебалось в пределах от 2,5 до 6 кг/мм², а отношение удельного натяжения к пределу текучести ($\frac{\sigma_1}{\sigma_s}$) соответственно колебалось в пределах $\frac{\sigma_1}{\sigma_s} = 0,25 \div 0,4$. Так

как на осциллограммах фиксировался момент начала прокатки, момент приложения усилия натяжения к листу, обороты валков и время, то по этим данным оказалось возможным определить минимальную длину переднего конца листа, прокатываемого без натяжения. Наименьшая длина участка листа, прокатанного до начала движения каретки, составила 240 мм, при расстоянии ст губок каретки до валков 310 мм. Таким образом, каретка начала двигаться раньше, чем передний конец листа подходил к губкам каретки, т. е. заправка листа в губки каретки производилась при движении каретки. Разгон двигателя до скорости прокатки и выборка петли осуществлялись за 1,8 сек. За это время прокатывался участок листа длиной 690 мм. Таким образом, общая длина переднего конца листа, которая прокатывалась без натяжения, составляла 930 мм. Следует отметить, что при ус-

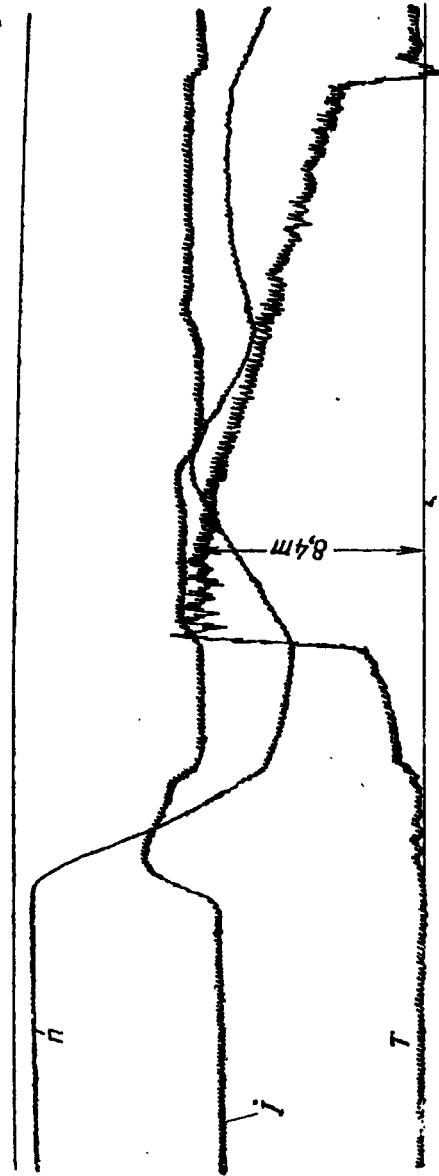


Рис. 48. Осциллограмма прокатки листа переменного сечения с натяжением при применении гидробуфера

вершенствовании электрической аппаратуры привода каретки время разгона и выборки петли может быть уменьшено до 1 сек. и при этом минимальная длина переднего конца листа, прокатываемого без натяжения, может быть уменьшена до 600 мм.

Таким образом, проведенное исследование позволило оценить эффект, получаемый при прокатке листов с натяжением, выявить величину и характер изменения усилия натяжения при прокатке и определить минимальную длину переднего конца листа, прокатываемого без натяжения.

Глава IV

НАГАРТОВКА ЛИСТОВ ПЕРЕМЕННОГО СЕЧЕНИЯ

1. ПНЕВМОГИДРАВЛИЧЕСКОЕ УСТРОЙСТВО ДЛЯ НАГАРТОВКИ

Для повышения механических свойств дюралюминиевых листов их подвергают нагартровке. При этом закаленные и естественно состаренные листы прокатываются с суммарным обжатием $\epsilon = 6 \div 8\%$. Так как пластичность металла при нагартровке значительно уменьшается, то неравномерность деформации при прокатке вызывает появление гофра, хлопунгов и других неровностей на листах. Устранить эти дефекты при последующей правке листов не представляется возможным и, вследствие этого, при прокатке — нагартровке непосредственно со стана должны быть получены ровные листы без хлопунгов и гофра. Для этого нагартровку обычных листов постоянного сечения выполняют высококвалифицированные вальцовщики и при этом сравнительно небольшие обжатия листов производятся за большое число пропусков.

При разработке и освоении технологического процесса нагартровки листов переменного сечения возникли дополнительные трудности, вызванные тем, что расстояние между валками в процессе прокатки должно непрерывно изменяться. Описанный выше способ вращения электродвигателем нажимных винтов не обеспечивал прокатку клиновидных листов с малыми обжатиями, так как при этом трудно осуществить задачу листа в стан при строго определенном зазоре между валками.

В связи с этим для освоения нагартровки листов переменного сечения была разработана конструкция гидравлического устройства, позволяющая осуществить непрерывное прижатие валков к прокатываемому клиновидному листу при различной величине давления металла на валки. При этом оказалось возможным, изменяя усилие на валках, уменьшать обжатие клиновидного листа за каждый пропуск до предельно малых величин. Прижатие валков к листу осуществляется путем установки под нажимные винты гидравлических цилиндров, в которых поддерживается заданная величина давления масла. Давление это может оставаться в процессе прокатки постоянным и, следовательно, усилие на валках будет также постоянным либо изменяться по заданному

режиму, и, соответственно этому, изменяется усилие на валках.

Впервые указанное устройство было спроектировано для опытно-промышленного стана 900; требуемое давление масла в гидравлических цилиндрах создавалось с помощью пневмогидравлического преобразователя давления¹. Схема устройства представлена на рис. 49. Приспособление предусматривает возможность прокатки клиновых листов с постоянным и переменным усилием на валки. При работе стана с постоянным усилием на валки в пневматический цилиндр 1 преобразователя давления из магистрали 2 через регулирующий клапан подается сжатый воздух. Назначение регулирующего клапана — установить требуемое давление воздуха в цилиндре и поддерживать его постоянным в процессе прокатки листа. При подаче воздуха в пневматический цилиндр масло под давлением вытесняется из гидравлического цилиндра 3 преобразователя в гидравлические цилиндры 4, установленные под нажимными винтами. В подготовленный таким образом стан задается передний конец клинового листа, который обжимается вращающимися валками. По мере прохождения клиновидного листа верхний валок поднимается, и масло из цилиндров, установленных под нажимными винтами, вытесняется в цилиндр преобразователя. При этом поршень преобразователя опускается, и сжатый воздух из пневмоцилиндра выходит в атмосферу. Для того чтобы избежать удара валка о валок перед окончанием прокатки листа, воздух из пневматического цилиндра преобразователя выпускается, и верхний валок плавно опускается. Прокатка может осуществляться со сближением и раздвижением валков. При работе стана с переменным давлением на валки воздух подается в пневматический цилиндр преобразователя и по достижении заданного давления в гидросистеме, подача воздуха прекращается, и поданный в пневмоцилиндр объем воздуха запирается поворотом пробкового крана. Во время задачи в валки и прокатки клиновидного листа масло из цилиндров, расположенных под нажимными винтами, вытесняется в гидравлический цилиндр преобразователя, и так как воздух из пневмоцилиндра не может выйти, то он сжимается, и давление в цилиндрах повышается. Перепад в давлениях между началом и концом прокатки листа можно регулировать в широких пределах, изменяя объем рабочей полости воздушного цилиндра. Работа пневмогидравлического устройства с переменным давлением более удобна, так как величина давления от пропуска к пропуску может легко изменяться в широких пределах. Это позволяет регулировать обжатие листа, что способствует получению ровных листов без хлопунгов и гофра. Так как настройка стана при нагар-

¹ Конструкция устройства для нагартровки листов переменного сечения разработана под руководством инж. В. Л. Добкина.

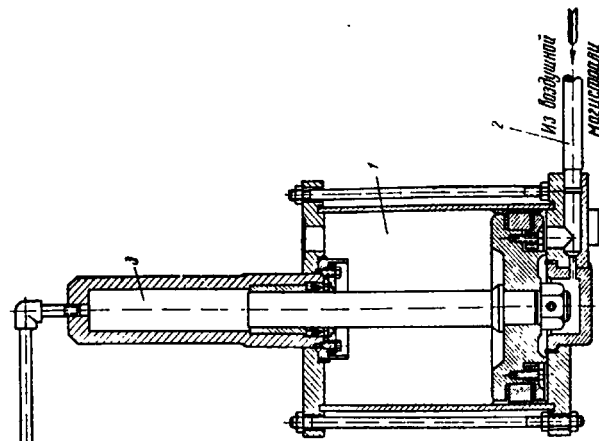
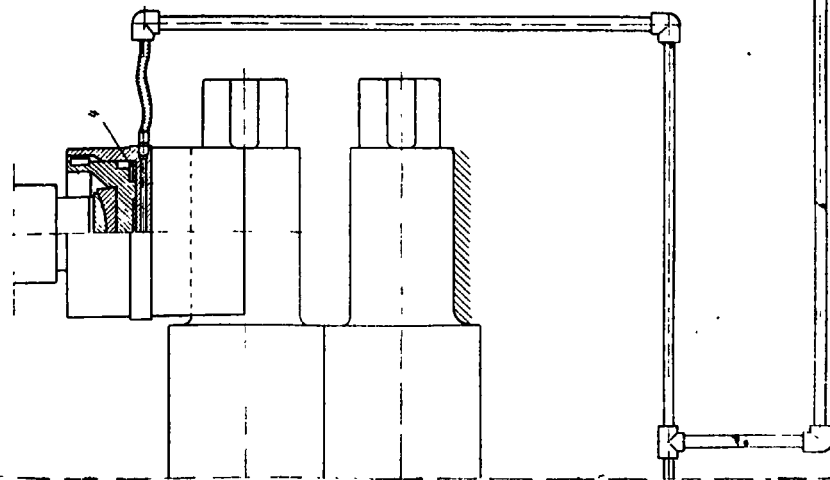


Рис. 49. Схема гидравлического приспособления для нагартровки листов переменного сечения на стане дуо 900



товке листов переменного сечения регулируется давлением, возникающим на валках, то можно определить величину этого давления, которое создается пневмогидравлическим устройством. Давление масла в гидравлических цилиндрах (P_r) возрастает пропорционально увеличению давления сжатого воздуха (P_v) в пневмоциindre преобразователя:

$$P_r = \frac{F_{\pi}}{f_r} P_v, \quad (18)$$

где F_{π} — площадь пневматического цилиндра преобразователя;
 f_r — площадь гидравлического цилиндра преобразователя.

Следовательно, при нагартровке с постоянным давлением на валках требуемая величина усилия выбирается посредством регулировки давления воздуха в пневмоциindre преобразователя. При нагартровке клиновидного листа с изменяющимся в процессе прокатки давлением на валках объем сжатого воздуха в пневмоциindre изменяется по мере изменения зазора между валками, и так как выход воздуха из пневмоциндра закрыт, то давление его соответственно уменьшается. Определим, как изменяется давление в момент задачи в валки и нагартровки клиновидного листа размером $h \cdot H \cdot L$, где h и H — толщины переднего и заднего концов клинового листа, а L — длина листа.

Объем масла в гидравлических домкратах, установленных под нажимными винтами, равен

$$V_{г.д} = 2 \frac{\pi d^3}{4} l_d, \quad (19)$$

где d — диаметр цилиндра домкрата;
 l_d — ход плунжера гидравлического домкрата.

Наибольший ход плунжера гидравлического цилиндра преобразователя давления равен

$$l_{пл} = \frac{4V_{г.д}}{\pi d_{пл}^2}, \quad (20)$$

где $d_{пл}$ — диаметр плунжера гидравлического цилиндра преобразователя давления.

Объем воздуха в цилиндре преобразователя давления равен

$$V_{в.ц} = \frac{\pi D_{в.ц}^2}{4} l_{пл}, \quad (21)$$

где $D_{в.ц}$ — диаметр воздушного цилиндра преобразователя давления.

Объем масла, вытесняемого из гидравлических домкратов в момент задачи листа в валки (обжатием листа пренебрегаем):

$$V_n = 2 \frac{\pi d^2}{4} h. \quad (22)$$

Ход плунжера гидравлического цилиндра в момент задачи листа в валки:

$$l' = \frac{4V_n}{\pi \cdot d_{пл}^2}. \quad (23)$$

Объем воздуха в цилиндре преобразователя давления после задачи листа в валки:

$$V'_{в.ц} = \frac{\pi D_{в.ц}^2}{4} (l - l'). \quad (24)$$

Объем воздуха в трубопроводе от преобразователя давления до запорных пробковых кранов:

$$V_{в.т} = \frac{\pi d_{тр}^2}{4} L, \quad (25)$$

где $d_{тр}$ — диаметр трубы;
 L — длина трубопровода.

Изменение давления воздуха в цилиндре (Δ) в момент задачи листа:

$$\begin{aligned} P_v &= (V_{в.ц} + V_{в.т}) = P'_v (V'_{в.ц} + V_{в.т}); \\ P'_v &= P_v \left(\frac{V_{в.ц} + V_{в.т}}{V'_{в.ц} + V_{в.т}} \right); \\ \Delta &= \frac{P'_v - P_v}{P_v} \cdot 100 = \frac{P_v \left(\frac{V_{в.ц} + V_{в.т}}{V'_{в.ц} + V_{в.т}} \right) - P_v}{P_v} \cdot 100; \\ \Delta &= \left(\frac{V_{в.ц} + V_{в.т}}{V'_{в.ц} + V_{в.т}} - 1 \right) \cdot 100\%. \end{aligned} \quad (26)$$

Таким образом, перепад давления при нагартовке клиновидного листа зависит от соотношения объемов воздуха в воздушном цилиндре до задачи листа в валки и в период прохода листа между валками. Объем воздуха в пневмоцилиндре преобразователя перед задачей листа в валки определяется величиной хода плунжеров домкратов, которая в свою очередь может изменяться при подъеме или опускании нажимных винтов. Чем больше будут подняты нажимные винты, тем больше будет объем воздуха в

воздушном цилиндре перед задачей листа в валки и тем меньше будет перепад давления при задаче листа в валки и, наоборот, чем меньше будут подняты нажимные винты, тем больше будет перепад давления при нагартовке одного и того же клиновидного листа.

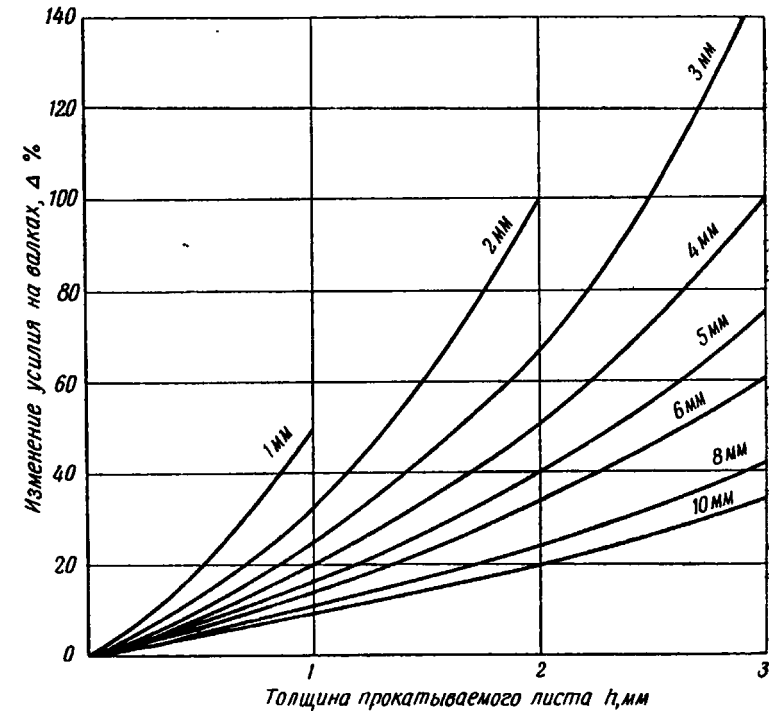


Рис. 50. График изменения давления металла на валки при прокатке клиновидного листа (прокатка с переменным давлением, цифры на кривых обозначают наибольшее расстояние между валками $H_{мм}$)

На рис. 50 представлен график изменения давления металла на валки при пропуске клиновидного листа, построенный по формуле (26) применительно к устройству для нагартовки листов переменного сечения стана 900.

С помощью этого графика можно, задаваясь зазором между валками (H), определить изменение усилия на валках при задаче в стан листов различной толщины и, таким образом, определить изменения давления на валках при нагартовке клиновидного листа заданных размеров.

2. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС НАГАРТОВКИ¹

Исходными заготовками под нагартровку листов переменного сечения служат прокатанные клиновидные листы. Размеры подката под нагартровку определяются исходя из принимаемого при нагартровке обжатия ($\epsilon = 6—8\%$) и припусков по длине для обрезки листов при их окончательной отделке. Обозначим размеры нагартованного листа после окончательной отделки:

h — толщина тонкого конца листа, мм;

H — толщина толстого конца листа, мм;

L — длина листа, м;

$$K = \frac{H-h}{L} \text{ — клиновидность листа, мм/м.}$$

Принимая, согласно опытным данным, припуск на обрезку листов по длине 100 мм от тонкого конца и 200 мм от толстого конца², определим размеры нагартованного клиновидного листа, полученного со стана:

$$\begin{aligned} L_1 &= L + 0,3 \text{ м;} \\ h_1 &= h - 0,1K, \text{ мм;} \\ H_1 &= H + 0,2K, \text{ мм.} \end{aligned}$$

Принимая, что для обеспечения требуемых механических свойств при нагартровке средняя величина обжатия по всей длине листа колеблется в пределах 6—8%, определяем размеры подката под нагартровку:

$$\begin{aligned} H_2 &= (1,06 \div 1,08) (H + 0,2K); \\ h_2 &= (1,06 \div 1,08) (h - 0,1K); \\ L_2 &= (0,94 \div 0,92) (L + 0,3); \end{aligned}$$

Подкат, полученный со стана и предназначенный для нагартровки, подвергают закалке по технологии, принятой для обычных дюралюминиевых листов постоянного сечения. Непосредственно после закалки листы правят на роликотправильных машинах. Если же подкат имеет значительные дефекты в виде хлопунгов, волнистости и коробоватости, то рекомендуется подвергать его правке на растяжных машинах непосредственно после закалки. После правки клиновидные листы подвергают естественному старению по режимам, принятым для обычных листов. Исследование геометрии подката, предназначенного для нагартровки, выявило, что при прокатке деформация по ширине листа неравномерна. При прокатке клиновидного листа давление металла на валки

¹ Разработка и освоение технологии нагартровки листов переменного сечения проведена канд. техн. наук С. П. Грановским и инж. Б. Н. Козловым при участии автора.

² Увеличение длины отрезаемого участка на толстом конце листа объясняется тем, что при прокатке клиновидного листа на толстом конце наблюдаются большие отклонения от заданных размеров.

непостоянно и оно постепенно уменьшается от тонкого конца листа к толстому. Вследствие этого изменяется прогиб и сплющивание валков и соответственно изменяется профиль щели между валками при прокатке. Изменение профиля щели между валками при прокатке клиновидного листа подтверждается результатами измерений толщины тонкого и толстого концов листа, проведенных через каждые 50 мм по ширине листа (рис. 51).

Как видно из графиков, профиль толстого конца листа — вогнутый, а профиль тонкого конца листа — выпуклый. Такой характер изменения толщины в направлении ширины листа свидетельствует о наличии значительной неравномерности деформации при прокатке клиновидного листа, вызванной изменением давления на валки при прокатке. Для того чтобы не было коробоватости, хлопунгов и гофра в нагартованных листах, необходимо путем подбора бочкообразности валков и величины обжатия за проход при нагартровке устранить неравномерность толщины листа.

На рис. 51 представлены результаты замеров толщины переднего (1) и заднего (2) концов клиновидного нагартованного листа, не имеющего хлопунгов, волнистости и гофра. Сопоставляя эти данные с результатами соответствующих замеров подката под нагартровку, можно отметить, что на ровных нагартованных листах неравномерность обжатия по ширине листа значительно меньше, причем как на толстом, так и на тонком концах листа наблюдается утолщение профиля к середине листа. Таким образом, получение нагартованных клиновидных листов возможно при значительном сокращении неравномерности деформации металла по ширине листа.

Если нагартровка производится с постоянным давлением на валки, то относительное обжатие от тонкого к толстому концу листа уменьшается (рис. 52). При увеличении давления на валки по мере прокатки клиновидного листа можно увеличить относительное обжатие толстого (по сравнению с тонким) конца листа (рис. 53) и, таким образом, при определенном перепаде давления металла на валки при нагартровке толстого и тонкого концов листа можно обеспечить приблизительно одинаковое относительное обжатие переднего и заднего концов листа.

При нагартровке клиновидных листов размером $1,3 \times 2,6 \times 3400$ мм на стане 900 одинаковые относительные обжатия переднего и заднего концов листа получены при увеличении давления металла на валки при прокатке толстого конца на 4—6% по сравнению с тонким концом листа.

Точность размеров по толщине нагартованных листов характеризуется данными, приведенными в табл. 7. Здесь h_{ϕ} фактическая толщина листа в рассматриваемом сечении, h_c — расчетная толщина при строго линейном законе изменения толщины по

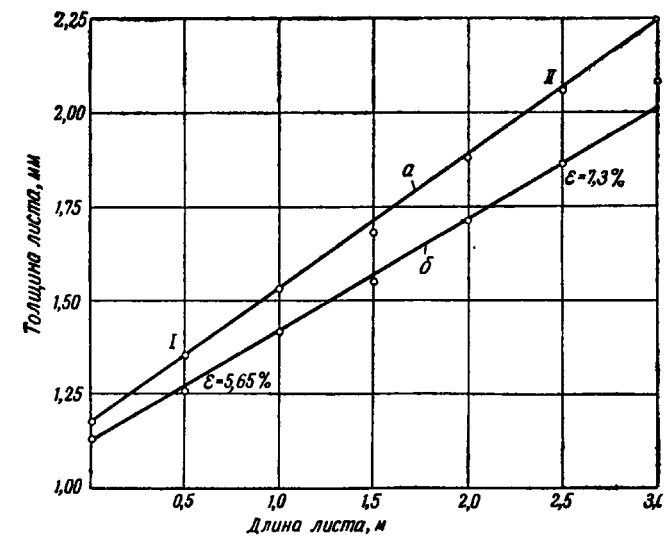
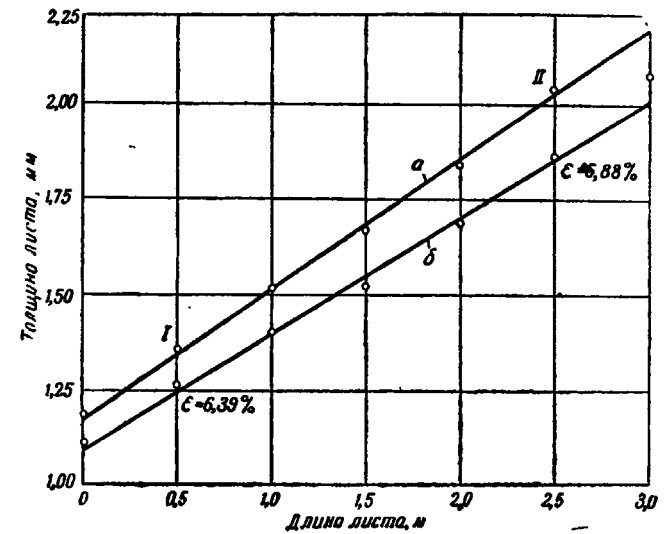
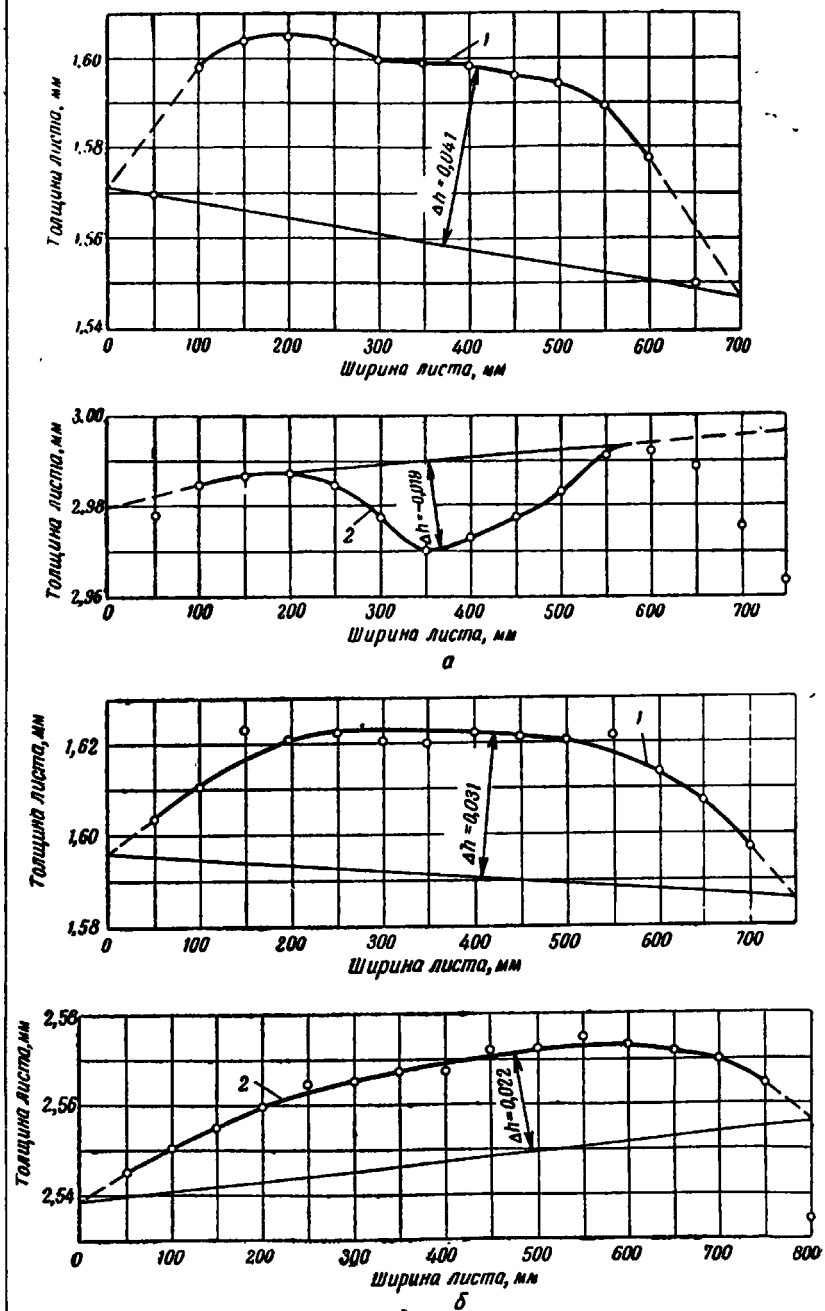


Таблица 7

Экспериментальные данные по нагартовке листов переменного сечения из алюминиевого сплава Д16

		Размеры листа							
		до нагартовки				после нагартовки			
		$H_{\text{тонк}} = 1,23 \text{ мм};$ $H_{\text{толст}} = 2,56 \text{ мм};$ $\text{tg } \beta = 0,00038$				$H_{\text{тонк}} = 1,15 \text{ мм};$ $H_{\text{толст}} = 2,36 \text{ мм};$ $\text{tg } \beta = 0,00346;$ $\epsilon_{\text{тонк}} = 6,66\%;$ $\epsilon_{\text{толст}} = 5,23\%$			
Подкат	L	0	500	1000	1500	2000	2500	3000	3500
	h_{ϕ}	1,24	1,44	1,60	1,79	1,97	2,17	2,37	2,56
	h_c	1,23	1,42	1,61	1,80	1,99	2,18	2,37	2,56
	Δ_{ϕ}	+0,01	+0,02	-0,01	-0,01	-0,02	-0,01	0	0
Нагартованный лист	h_{ϕ}	1,09	1,35	1,49	1,65	1,82	2,00	2,17	2,39
	h_c	1,15	1,32	1,49	1,665	1,84	2,01	2,185	2,36
	Δ_{ϕ}	-0,06	+0,03	0	-0,015	-0,02	-0,01	-0,015	+0,03
		$H_{\text{тонк}} = 1,18 \text{ мм};$ $H_{\text{толст}} = 2,245 \text{ мм};$ $\text{tg } \beta = 0,000356$				$H_{\text{тонк}} = 1,125 \text{ мм};$ $H_{\text{толст}} = 2,01 \text{ мм};$ $\text{tg } \beta = 0,000295;$ $\epsilon_{\text{тонк}} = 5,6\%;$ $\epsilon_{\text{толст}} = 7,3\%$			
Подкат	L	0	500	1000	1500	2000	2500	3000	—
	h_{ϕ}	1,185	1,36	1,53	1,68	1,88	2,06	2,25	—
	h_c	1,18	1,355	1,535	1,71	1,89	2,065	2,245	—
	Δ_{ϕ}	+0,005	-0,005	-0,005	-0,03	-0,01	-0,005	+0,005	—
Нагартованный лист	h_{ϕ}	1,135	1,26	1,415	1,55	1,705	1,86	2,08	—
	h_c	1,125	1,27	1,42	1,565	1,715	1,86	2,01	—
	Δ_{ϕ}	+0,01	-0,01	-0,005	-0,015	-0,01	0	+0,07	—

длине листа и $\Delta_{\phi} = h_{\phi} - h_c$ — отклонения действительного от расчетного профиля.

Из приведенных данных видно, что у нагартованных клиновидных листов отклонения от линейного профиля незначительные и укладываются в пределы допусков, предусмотренных ГОСТ для листов переменного сечения из сплава Д16.

Нагартовка клиновидных листов осуществляется за 7-10 проходов. После нагартовки листы подвергают обрезке и правят на роликовой правильной машине. Ровность листов проверяют измерением отставания отдельных участков листа от контрольной плиты. Наибольшее отставание листа от контрольной плиты как по длинной, так и по короткой кромке листа не превышает 10—15 мм, т. е. нагартованные клиновидные листы полностью отвечают требованиям ГОСТ на обычные нагартованные листы постоянного сечения.

Таблица 8

Механические свойства нагартованных листов переменного сечения из сплава Д16

Номер листа	Номер образца	Толщина листа (образца) мм	Механические свойства		
			предел прочности σ_B кг/мм ²	предел текучести σ_S кг/мм ²	относительное удлинение δ , %
1	1	1,95	46,1	38,0	11,7
	2	1,99	45,9	37,4	13,3
	3	2,00	46,0	38,5	12,5
	4	1,60	47,0	39,1	11,7
	5	1,62	46,8	39,5	12,7
	6	1,62	47,2	39,0	11,8
	7	1,32	46,8	35,4	10,9
	8	1,34	47,0	35,0	10,0
	9	1,33	46,5	36,3	10,9
2	1	2,54	49,9	40,1	12,1
	2	2,55	49,6	40,5	11,4
	3	2,55	49,5	40,3	12,8
	4	2,11	50,7	40,8	13,5
	5	2,13	50,4	41,4	13,5
	6	2,13	50,4	41,2	13,5
	7	1,71	51,2	42,4	11,7
	8	1,75	50,7	41,7	13,3
	9	1,72	50,0	42,2	14,2
3	1	1,93	47,0	41,2	10,0
	2	1,94	47,2	40,4	10,8
	3	1,92	47,5	40,7	10,8
	4	1,58	48,6	39,2	12,7
	5	1,59	48,0	40,2	11,8
	6	1,58	48,0	39,1	10,9
	7	1,29	48,5	40,5	10,0
	8	1,29	47,9	39,4	12,0
	9	1,29	47,5	40,1	10,0

Для определения механических свойств нагартованного клиновидного листа испытывали образцы, отрезанные от тонкого и толстого концов каждого листа. Проведенные испытания показали, что механические свойства листов (σ_B , σ_S и δ) полностью соответствуют требованиям, предъявленным ГОСТ к нагартованным листам данной толщины. В табл. 8 представлены результаты механических испытаний образцов, вырезанных из клиновидного листа по схеме, представленной на рис. 54.

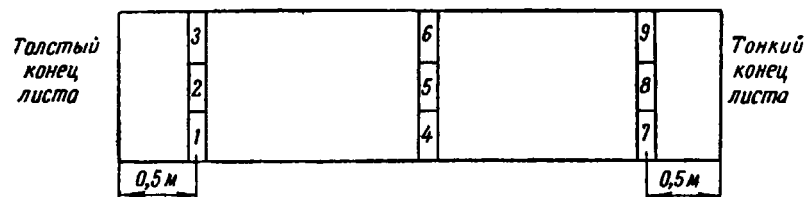


Рис. 54. Схема вырезки образцов для определения механических свойств нагартованных листов переменного сечения

Из приведенных данных видно, что механические свойства нагартованных листов выше, чем предусмотрено ГОСТ для листов толщиной 0,8—2,5 мм ($\sigma_B = 43,5 \text{ кг/мм}^2$; $\sigma_S = 34 \text{ кг/мм}^2$; $\delta = 10\%$) и листов толщиной 2,6—6,0 мм ($\sigma_B = 46,5 \text{ кг/мм}^2$; $\sigma_S = 35 \text{ кг/мм}^2$ и $\delta = 10\%$).

Таким образом, нагартованные листы переменного сечения как по механическим свойствам, так и по размерам и ровности полностью удовлетворяют требованиям, предъявленным к обычным нагартованным листам.

Сортамент нагартованных листов переменного сечения такой же, как и у обычных, ненагартованных листов переменного сечения, так как их прокатывают на тех же станах.

Глава V

О ПРОМЫШЛЕННОМ СТАНЕ ДЛЯ ПРОКАТКИ ШИРОКИХ ЛИСТОВ ПЕРЕМЕННОГО СЕЧЕНИЯ

На основании опыта, полученного в результате исследования и наладки опытно-промышленного стана дуо 900 для прокатки сравнительно узких листов переменного сечения, ниже приводятся некоторые перспективные соображения о конструкции стана, потребном оборудовании и технологическом процессе производства широких листов переменного сечения на промышленном стане.

Стан должен прокатывать широкие листы переменного сечения.

Примерная характеристика материала прокатываемых листов и некоторые их размеры приведены в табл. 9 и 10.

Размеры исходного листа постоянного сечения определяются по исходной ширине готового листа с учетом обрезаемых по длине кромок: исходная длина определяется площадью сечения готовой продукции (по длине листа), деленной на величину толстого конца листа, плюс некоторый запас на обрезку поперечных кромок; исходная толщина равна толстому концу готовой продукции.

Клиновидные листы получают при строго согласованной скорости прокатки и скорости подъема (или опускания) верхнего рабочего вала, соответствующей заданной клиновидности листа. Согласованность скоростей прокатки и подъема рабочего вала достигается электрической следящей системой.

Точная установка валков в исходное положение при переходе с одного прохода на следующий связана с затратой времени, поэтому листы целесообразно прокатывать партиями, причем их следует подавать в валки одной и той же стороной, например, тонким концом.

Для получения качественного листа прокатка должна производиться с натяжением, которое особенно необходимо для тонких листов. Натяжение листа при прокатке осуществляется натяжным устройством, располагаемым на выходной стороне рабочей клетки стана.

При прокатке тонких листов в первых проходах, вследствие

Таблица 9

Характеристика материала клиновидных листов, положенная в основу
примерного расчета промышленного стана (гл. VI)

Механические свойства	До закалки	После закалки
Предел прочности, кг/мм^2	21—26	47—60
Предел текучести, кг/мм^2	11—16	33—55

Таблица 10

Ориентировочные размеры готовой продукции

Толщина, мм		Клиновидность по длине листа, мм/м
толстый конец	тонкий конец	
8	2	1,5—0,75
6	2	1,0—0,5
4	2	0,5
4	1	0,75—0,5
3	1	0,5

незначительного изменения толщины листа (причем не по всей его длине), усилие натяжения может быть величиной постоянной.

В последних проходах, когда лист имеет значительную разницу, в толщине на его крайних концах для получения качественных листов необходимо приложение различного усилия натяжения. Возможность такого изменения усилия в натяжном устройстве должна быть предусмотрена электрической схемой. Изменять величину усилия с меньшего на большее, т. е. осуществить задачу листа в валки тонким концом нельзя, так как в этом случае усилие натяжения, необходимое для заднего (толстого) конца, передавалось бы натяжным устройством через передний (тонкий) конец листа, ухудшая качество последнего чрезмерным натяжением. Поэтому задача листа в валки в последних проходах должна производиться толстым концом и усилие натяжения в процессе прокатки должно изменяться с большей величины на меньшую. При такой схеме прокатки принцип согласованности скоростей прокатки перемещения верхнего рабочего вала остается прежним, с той лишь разницей, что валок будет не подниматься, а опускаться.

Листы в процессе прокатки могут подвергаться промежуточному отжигу в отжигательных печах и по окончании процесса —

закалке. После закалки листы правят на роликовой машине для устранения волнистости и коробоватости, а затем подвергают нагартовке (дрессировке) в той же клети, где проводилась прокатка листов. При этом условия работы клети несколько меняются (см. ниже). Затем листы поступают на линию правки и резки, где производится окончательная правка и резка их на мерный размер.

Стан (рис. 55) должен представлять собой клеть кварто 1. С приводом рабочих валков от электродвигателя через комбинированный редуктор 3 и универсальные шпиндели 2. Нажимные винты приводятся во вращение двумя двигателями постоянного тока. Рабочая клеть стана оборудуется натяжным устройством 4, позволяющим прокатывать листы с натяжением, а также специальным устройством для смены валков 5; клеть имеет подводящий 6 и отводящий 7 столы и пневматический укладчик листов 8. В состав стана также должны входить: специальная многороликовая правильная машина 11 для правки листов переменного сечения, оборудованная стеллажом 9, а также подводящим 10 и отводящим 12 столами; дисковые ножницы 14 с кромок-крошителем, предназначенные для обрезки длинных кромок листов; ножницы оборудуются подводящим 13 и промежуточными столами 15; ножницы с нижним резом 16 предназначены для обрезки коротких кромок листа; они имеют отводящий стол 17. Стан должен иметь принудительные системы смазки и охлаждения.

Ниже описываются отдельные машины и узлы промышленного стана, предназначенного для прокатки широких листов переменного сечения.

Укладчик листов. Укладчик листов предназначается для механизации процессов транспортировки листов у стана. Он должен снимать прокатываемые листы со стола и переносить их на стеллаж. Примерное устройство укладчика листов следующее. На четырех колоннах укреплены две балки с рельсами, проходящие над обслуживаемым столом и стеллажом в поперечном направлении. На балках покоится мост, на котором смонтирован электродвигатель с механизмом для передвижения моста. На мосту укреплены пневматические цилиндры для подъема подвески, к которой подвешены траверсы. В каждую из траверс вмонтировано несколько пневматических подъемников, осуществляющих захват листа укладчиком.

Пневматический подъемник, применяемый в ряде аналогичных конструкций, представляет собой двухступенчатый цилиндр различных диаметров; верхний цилиндр меньшего диаметра и нижний цилиндр большего диаметра. В цилиндрах перемещаются поршни, соединенные между собой штоком. Крайнее нижнее положение поршней является исходным и устанавливается пружинами.

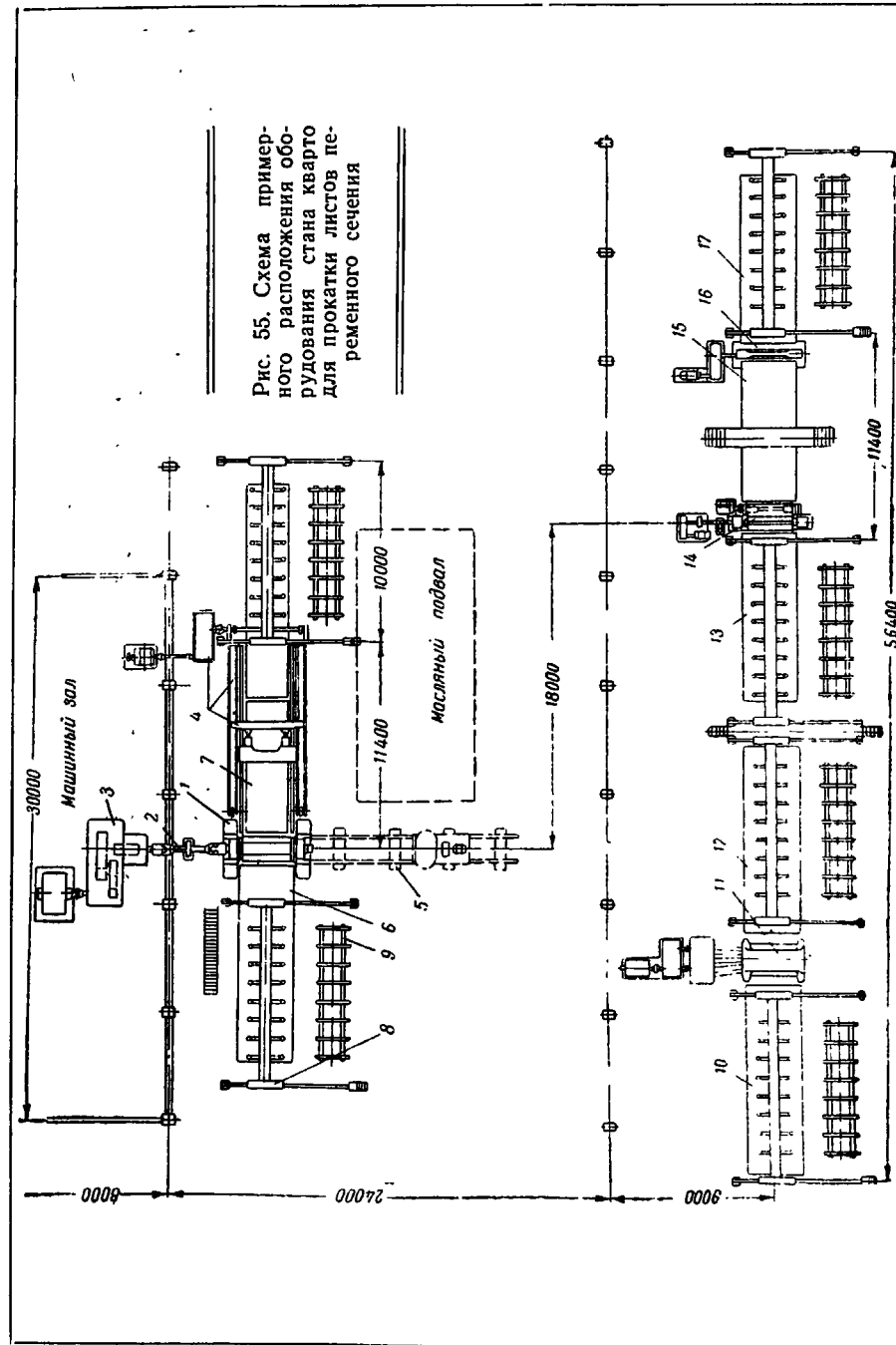


Рис. 55. Схема примерного расположения оборудования стана для прокатки листов переменного сечения

жиной, действующей на верхний поршень. К нижней части цилиндра прикреплено резиновое кольцо, благодаря которому подъемник плотно прилегает к поднимаемому листу под действием собственного веса подъемника и траверсы.

К верхнему цилиндру подводится сжатый воздух, который, поднимая верхний поршень, создает вакуум между поднимаемым листом и поршнем нижнего цилиндра, чем обеспечивается захват листа.

В связи с тем что размеры поднимаемого листа могут иметь значительные диапазоны используются лишь подъемники, расположенные над листом — остальные отключаются от подводящей магистрали сжатого воздуха.

Для наилучшего использования крайних по ширине подъемников, при различной ширине листа, траверса снабжается двумя шарнирами, при помощи которых устанавливается положение крайних подъемников.

Данная конструкция подъемника заменяет обычно применяемую в подобных случаях вакуумную установку.

Каждый подъемник должен иметь отдельный подвод сжатого воздуха, что предохраняет от возможности отрыва листа при несрабатывании некоторых подъемников.

Подводящий стол может быть изготовлен в виде четырехленточного транспортера, две крайние ленты которого по ширине перемещаются в зависимости от ширины прокатываемого листа. Каждая из четырех лент охватывает два крайних шкива и два шкива натяжного устройства ленты. Все крайние шкивы четырех лент соединены между собой двумя общими валами, один из которых приводится во вращение электродвигателем через цилиндрический зубчатый редуктор. Верхняя ветвь между шкивами скользит по полированному стальному листу, который устраняет прогиб ленты под действием перемещающегося груза. Два средних листа, поддерживающих ленты, прикреплены неподвижно к металлоконструкции стола, а два крайних листа укреплены в проводках, которые перемещаются в поперечном направлении стола при настройке на новую ширину прокатываемых листов. Перемещение крайних шкивов, связанных проводками с натяжным устройством ленты, производится при помощи штурвала.

На столе вблизи рабочей клетки должен быть установлен флажок, который, наклоняясь под действием перемещаемого листа, включает через реле времени двигатель нажимного механизма.

Рабочая клетка. Конструкция рабочей клетки (рис. 56) в основном аналогична обычной четырехвалковой клетке со станиной закрытого типа. Валки вращаются в подшипниках качения. Уравновешивание верхнего рабочего валка осуществляется гидрау-

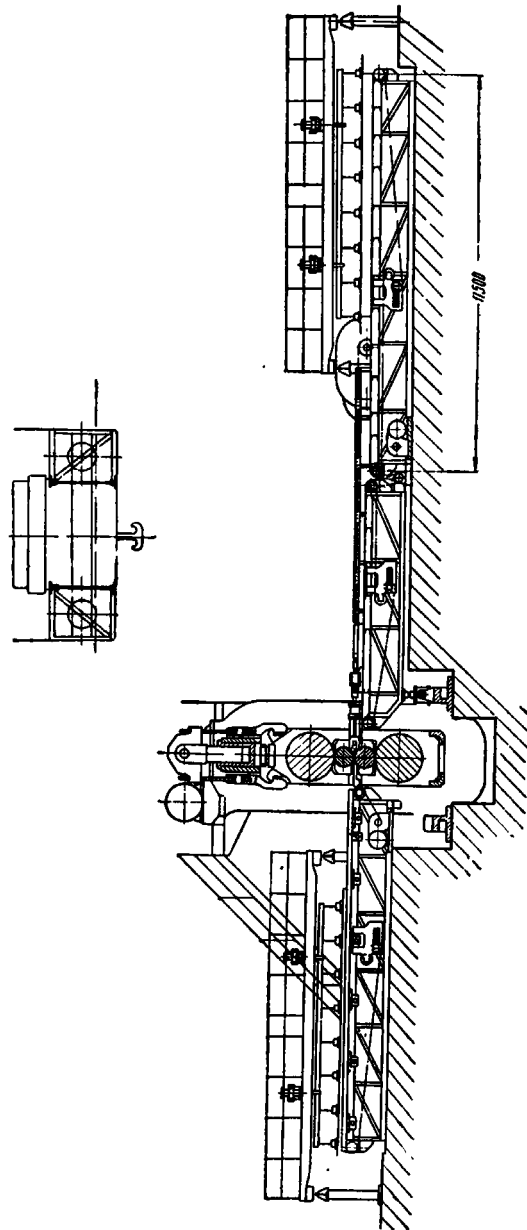


Рис. 56. Стан кварто для прокатки листов переменного сечения

ческими цилиндрами, а уравнивание верхнего опорного вала гидравлическим цилиндром, расположенным в верхней части клетки.

Привод рабочих валков клетки осуществляется от электродвигателя, через комбинированный редуктор и шпиндельное устройство. Электродвигатель и комбинированный редуктор целесообразно разместить в машинном зале. Передняя проводка закрепляется одним концом шарнирно на станине клетки, а другим концом опирается на рабочий валок. Шарнирное крепление проводки дает возможность поворотом рычага, на котором укрепена проводка, установить последнюю при перевалке в вертикальное положение за пределами окна в станине, освобождая путь для подушек валков при перевалке. Смена рабочих валков производится при помощи муфты краном, а опорных валков при помощи тележки.

Особенности рабочей клетки заключаются в следующем:

1. Вследствие того, что в процессе прокатки верхний рабочий валок перемещается под нагрузкой в вертикальном направлении с большой скоростью (для получения клиновидного листа), мощность двигателей нажимного механизма резко увеличена по сравнению с обычной четырехвалковой клетью для прокатки листов постоянного сечения.

Примерная кинематическая схема нажимного механизма стана, предназначенного для прокатки листов переменного сечения, приведена на рис. 57.

2. Для получения листа с определенной клиновидностью по всей его длине скорость перемещения нажимных винтов, а следовательно, и скорость перемещения верхнего рабочего вала должна быть строго согласована со скоростью прокатки. Скорость прокатки целесообразно принять постоянной для всего сортамента прокатываемых листов и, в зависимости от необходимой клиновидности, двигатель механизма перемещения нажимных винтов настраивается на соответствующую скорость.

В процессе прокатки листов переменного сечения вследствие различного давления металла на валки (особенно в первых проходах), скорость прокатки может несколько меняться. Это изменение скорости должно привести в действие электрические следящие системы, поддерживающие настроенное соотношение скоростей изменения раствора между валками, в зависимости от скорости прокатки. Согласованность определенных соотношений скоростей нажимных винтов и рабочих валков для каждого из профилей сортамента может быть достигнута при помощи специальной электрической схемы с двумя тахогенераторами, устанавливаемыми на одном из приводов нажимного механизма и на двигателе привода рабочих валков (см. гл. VI).

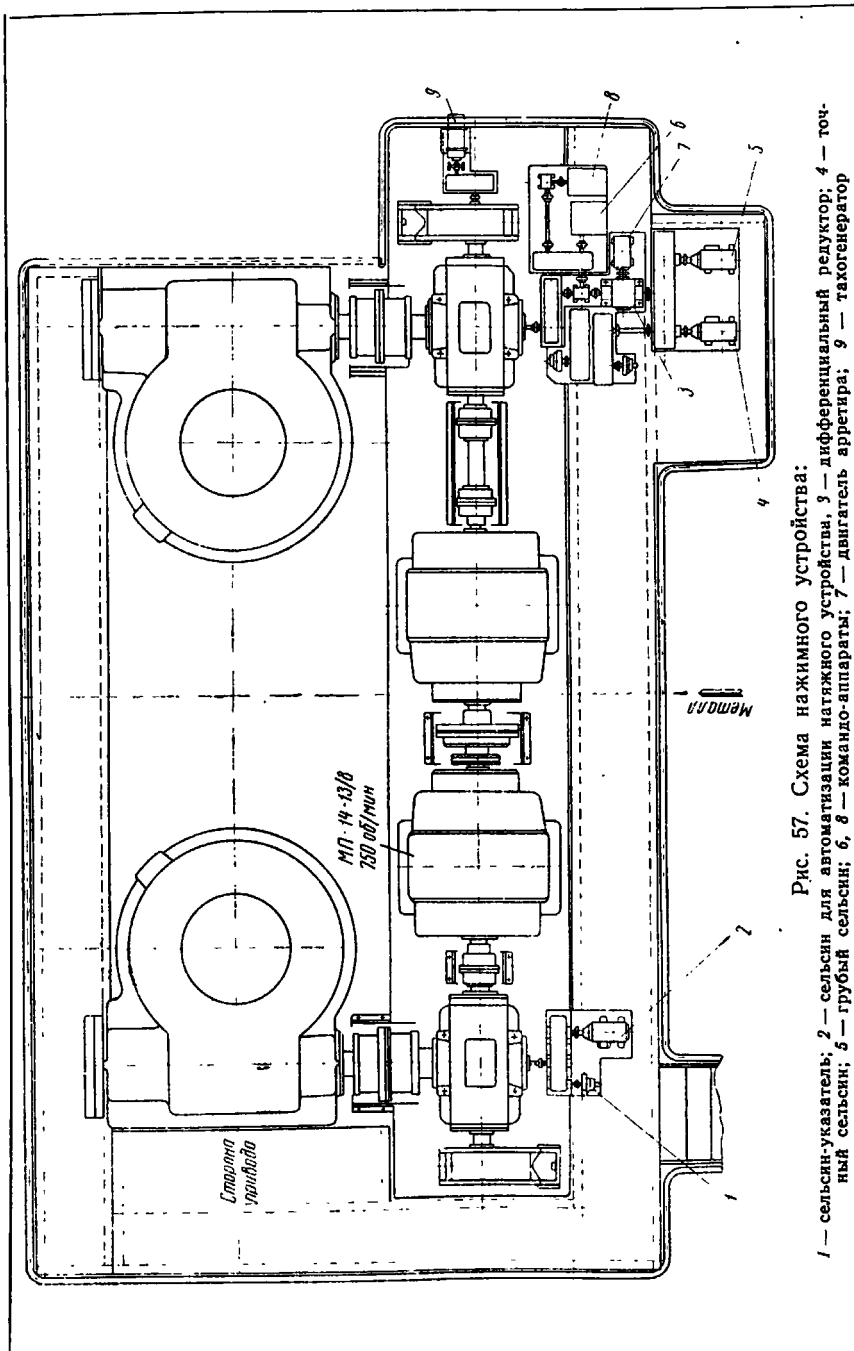


Рис. 57. Схема нажимного устройства:

1 — селсин-указатель; 2 — селсин для автоматизации натяжного устройства; 3 — дифференциальный редуктор; 4 — точный селсин; 5 — грубый селсин; 6, 8 — командо-аппараты; 7 — двигатель арретира; 9 — тахогенератор

3. Нагартровка листов производится в той же клет, что и прокатка листов.

Необходимо отметить, что электрической схемой должно быть предусмотрено получение с достаточной для практики точностью заданной клиновидности по всей длине листа. Что же касается величины заданного обжатия, т. е. установления необходимого раствора в момент начала прокатки, то его точно выдержать нельзя. Величина погрешности в обжатиях может доходить до $\pm 10\%$, которая несущественна при прокатке, особенно в промежуточных проходах, так как эти погрешности ликвидируются в последующих проходах. В последнем проходе погрешность в обжатии, выражающаяся в отклонении от заданных размеров толщин в переднем и заднем концах листов, будет примерно находиться в пределах допуска на толщину листа. Если же отклонения получатся больше допустимых, то последние легко привести к норме за счет изменения ширины кромки при резке листов на мерную длину.

При нагартровке величина обжатия значительно меньше, чем при прокатке, и поэтому возможная погрешность в установке раствора валков в момент начала нагартровки может привести к такому положению, что при увеличенном растворе между валками лист не будет подвергаться нагартровке, а при уменьшенном растворе обжатие будет больше необходимого.

Следовательно, электрическая следящая система согласования скоростей нажимного устройства и рабочих валков, обеспечивающая нормальный процесс прокатки, не пригодна для процесса нагартровки.

Для осуществления процесса нагартровки в рабочей клет должна быть предусмотрена специальная установка, заключающаяся в следующем (рис. 58). Между нажимными винтами и подушками верхних опорных валков устанавливаются два гидравлических цилиндра, на плунжерах которых закреплены подпятники под нажимные винты. При прокатке рабочая жидкость в цилиндры не подается. Устройство является жестким промежуточным звеном, которое не меняет условий работы следящей системы при прокатке листов. При переходе на процесс нагартровки нажимной механизм используется лишь вначале для установки раствора валков, после чего на всем протяжении процесса нажимной механизм не работает. Необходимое давление на валки достигается за счет подводимой рабочей жидкости к цилиндрам, расположенным между нажимными винтами и подушками верхнего опорного валка, аналогично такому же устройству, исследовавшемуся при нагартровке листов на стане дуо 900 (см. стр. 82).

Благодаря тому что плунжер цилиндра упирается в нажим-

ной винт, поступающая рабочая жидкость заставляет опускаться цилиндр вместе с верхним опорным и рабочим валками к на-

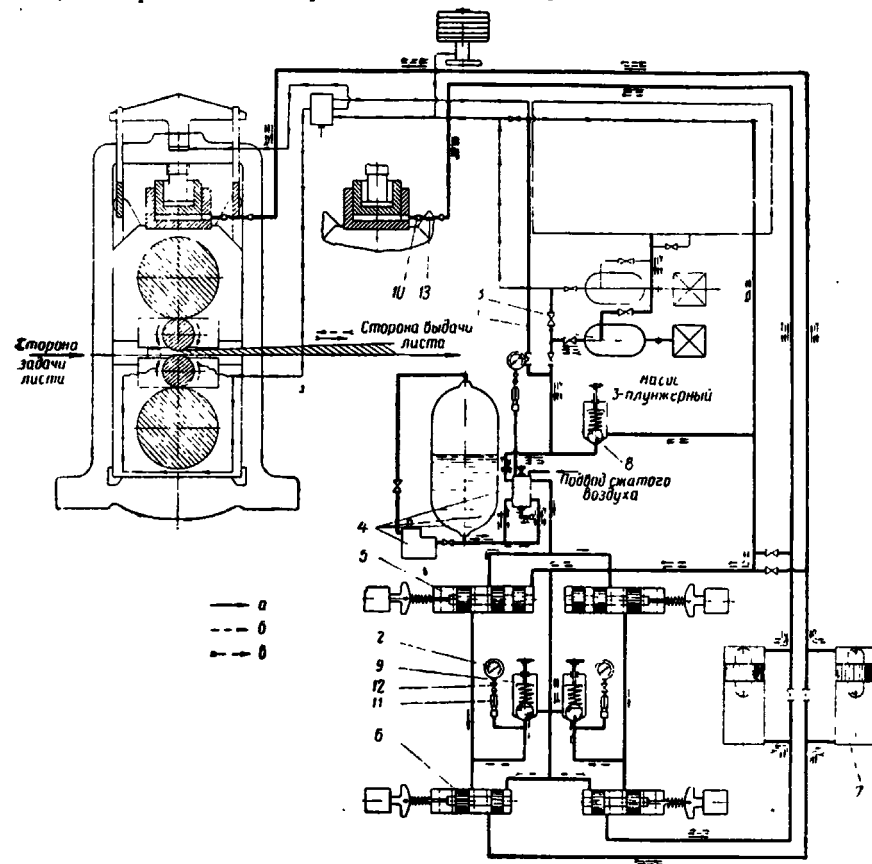


Рис. 58. Гидравлическая схема устройства для нагартовки листов переменного сечения:

1 — насосная установка; 2 — манометр; 3 — вентиль высокого давления; 4 — гидропневматический аккумулятор; 5 — реверсивный золотник с электромоторным управлением; 6 — трехходовой распределитель; 7 — дозирующий цилиндр; 8 — предохранительный клапан; 9 — перепускной клапан; 10 — соединение шлангов; 11 — демпфер; 12 — кран для манометра; 13 — шланг высокого давления

гартовываемому листу с постоянным усилием. Величина этого усилия может меняться в зависимости от сортамента нагартовываемых листов за счет изменения давления рабочей жидкости, поступающей от гидравлического нажимного устройства.

Натяжное устройство. Примерная конструкция натяжного устройства (рис. 59) состоит из следующих основных узлов: каретки, промежуточной балки, связывающей каретку с тяговой цепью; металлоконструкции, по которой перемещается каретка, и привода натяжного устройства. Каретка представляет собой литую раму, опирающуюся четырьмя катками на две решетчатые фермы, расположенные по ширине за пределами отводящего стола. Каретка по всей ширине имеет полость со стороны рабочей клетки, в которой смонтированы снизу и сверху два кулака, упирающиеся в губки, зажимающие прокатываемый лист своими на-сеченными плоскостями. Изменение расстояния по высоте между губками достигается поворотом кулаков при помощи зубчатых секторов, насаженных на оси кулаков. На верхних зубчатых секторах укреплены грузы, заставляющие прижиматься обе губки друг к другу с определенным усилием. Нижние зубчатые сектора имеют рычаги, назначение которых заключается в устранении (при определенном положении каретки) действия груза верхних секторов, т. е. они служат для того, чтобы разжать зажимные губки. С противоположной стороны зажимных губок в каретке смонтированы два гидравлических цилиндра, плунжеры которых шарнирно соединены с промежуточной балкой. Передние и задние полости цилиндров соединены между собой трубопроводом и регулируемым клапаном давления. Назначение указанных ци-

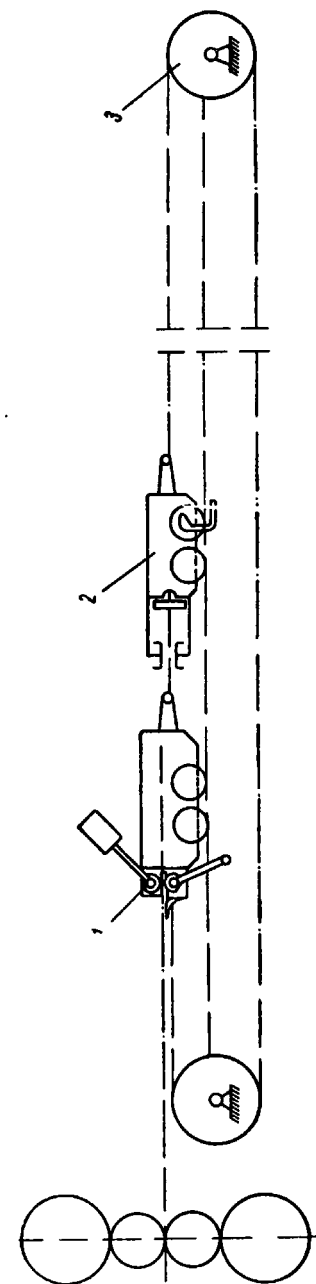


Рис. 59. Схема натяжного устройства стана для прокатки листов переменного сечения: 1 — зажимное устройство; 2 — пневматический цилиндр; 3 — привод натяжного устройства

линдров заключается в смягчении возможного удара в момент приложения усилия тяговой цепи к каретке за счет вытеснения жидкости из передней полости цилиндра в заднюю. Промежуточная балка опирается четырьмя катками также на решетчатые фермы, по которым перемещается каретка. Края балки соединены с тяговыми цепями, а середина — с двумя гидравлическими цилиндрами.

В конце путь для каретки заканчивается упором и пневматическим цилиндром, при помощи которого раскрываются зажимные губки каретки.

Необходимо отметить особенности электрической схемы, привода натяжного устройства, заключающиеся в следующем: а) двигатель должен включаться автоматически, когда листы уложены в зажимных губках каретки; б) двигатель должен создавать определенное усилие натяжения на тяговой цепи в продолжение всего цикла работы; абсолютная величина этого усилия должна изменяться. Кроме того, желательно плавно изменять величину усилия натяжения в определенных пределах в течение цикла работы; в) остановка двигателя должна производиться автоматически в заданном положении, определяемом длиной прокатываемого листа.

Линии правки и резки. Линия правки предназначается для двух операций; а) правки листов перед нагартровкой их для устранения волнистости и коробоватости; б) правки листов после нагартровки, являющейся окончательной обработкой листа перед обрезкой кромок.

Линия правки должна состоять из нескольких укладчиков со стеллажами, подводящего и отводящего столов и роликовой правильной машины. Укладчики обычно совершенно одинаковы с устанавливаемыми у стана; столы аналогичны подводящему столу стана и отличаются от последнего лишь размером.

По одной оси с агрегатом линии правки целесообразно расположить агрегат линии резки. Линия правки может работать как самостоятельный агрегат, в то время как линия резки занята обработкой другого сортамента листов или временно не работает. Когда на обеих линиях производится обработка листов одного и того же сортамента, то листы, выходящие из линии правки, с помощью небольшого промежуточного рольганга могут направляться на линию резки; таким образом, исключается работа укладчиков у отводящего стола линии резки.

Линия резки состоит из дисковых ножниц с кромкокрошителем и ножниц с нижним резом. Ножницы представляют собой обычную конструкцию, применяемую в аналогичных линиях. Возможна следующая рациональная технология на линии резки.

Лист снимается укладчиком со стопы и переносится на подводящий стол, при включении которого лист подается к дисковым

ножницам, обрезающим продольные кромки. После дисковых ножниц лист попадает на промежуточный стол, в конце которого установлен флажок на расстоянии, превышающем максимальную длину листа от дисковых ножниц.

При движении листа по промежуточному столу передний его конец, задевая флажок, снижает скорость стола (до «ползучей») и при помощи реле времени останавливает стол. К этому времени передний конец листа доходит до регулируемого упора, укрепленного на ножницах с нижним резом на некотором расстоянии за линией реза ножей. Затем включаются ножницы для обрезки кромки переднего конца листа, после чего нижний нож опускается в исходное положение, а упор, поворачиваясь при помощи пневматического цилиндра, освобождает путь листу к отводящему столу. На отводящем столе устанавливается флажок и несколько фотоимпульсаторов, из которых включается только один, в зависимости от длины листа. Назначение фотоимпульсатора заключается в установлении мерной длины при обрезке заднего конца листа.

При движении листа по отводящему столу передний его конец задевает флажок, который через реле времени снижает скорость отводящего стола до «ползучей», а фотоимпульсатор, при пересечении его луча передним концом листа, останавливает стол. Обрезка кромки заднего конца листа производится ножницами, после чего лист перемещается дальше по отводящему столу к укладчику, при помощи которого он снимается со стола и переносится на стеллаж.

В зависимости от того, производится ли на стане прокатка листов или их нагартровка, условия работы стана будут различны.

Работу на стане при прокатке листов целесообразно производить следующим образом. Рабочие валки клетки непрерывно приводятся во вращение, в то время как нажимной механизм, устанавливающий переменный раствор валков, включается только при подаче листа к валкам. Перед началом работы раствор валков устанавливается с таким расчетом, чтобы за время разгона двигателя нажимного механизма рабочие валки обеспечили величину заданного раствора в момент начала прокатки. Таким образом, в процессе прокатки на «отжим» величина первоначального раствора будет несколько меньше заданного, а в процессе прокатки на «прижим» несколько больше заданного раствора. Стопа исходных листов подается краном на стеллаж, располагаемый у подводящего стола. Укладчиком лист снимается со стопы и переносится на подводящий стол. При включении подводящего стола каретка натяжного устройства располагается в исходном положении вблизи клетки с выходной ее стороны, причем зажимные губки каретки разжаты на максимальную вели-

чину под действием пневматических цилиндров, укрепленных в металлоконструкции натяжного устройства.

При включении подводящего стола прокатываемый лист перемещается к рабочим валкам. Во время движения лист задевает укрепленный на столе флажок, который последовательно включает через реле времени: нажимной механизм, электромагнитный вентиль пневматических цилиндров, раскрывающих зажимные губки, и привод натяжного устройства. К моменту подхода переднего конца прокатываемого листа к рабочим валкам нажимной механизм осуществляет подъем верхнего валка от начального положения до заданного раствора валков, имея необходимую скорость подъема валка для получения требуемой клиновидности листа. Из рабочих валков передний конец листа попадает в зажимные губки натяжного устройства, которые зажимают лист под действием собственного веса груза, ранее находившегося в поднятом положении пневматическими цилиндрами. К этому времени включается натяжное устройство, каретка которого с зажатым передним концом листа передвигается с постоянным или переменным усилием над отводящим столом в течение всего времени прокатки, т. е. до выхода заднего конца листа из рабочих валков. При выходе листа из валков задний конец его опускается на отводящий стол и продолжает перемещаться по нему до момента освобождения переднего конца листа кареткой. Освобождение переднего конца листа производится с помощью линейки, укрепленной, например, на металлоконструкции натяжного устройства и воздействующей на рычаг зажимного механизма. Освобожденный передний конец листа опускается на отводящий стол, после чего каретка натяжного устройства останавливается.

Затем производится одновременное включение двух механизмов: натяжного устройства на реверс, для возвращения каретки последнего в исходное положение, и секций отводящего стола, перемещающих прокатанный лист к укладчику, при помощи которого лист переносится на стеллаж, расположенный в конце отводящего стола. Нажимной механизм с удвоенной скоростью приводит верхний рабочий валок в исходное положение, которое фиксируется конечным выключателем. На этом цикл работы стана заканчивается.

Работу на стане при нагартровке листов целесообразно производить следующим образом. При нагартровке листы должны поступать в стан толстым концом с целью возможности приложения переменного усилия натяжения. Перед началом работы нажимным механизмом устанавливают раствор валков на величину наибольшей толщины листа плюс некоторый запас, порядка 10—15 мм, для создания гидравлической подушки в выше-

описанном цилиндре, устанавливаемом между нажимным винтом и подушкой верхнего опорного валка, после чего нажимной механизм отключается на все время процесса нагартровки. Цилиндры соединяют с гидравлическим нажимным устройством, создающим постоянное давление на валки.

На этом подготовка стана к процессу нагартровки заканчивается.

Стопа листов, подлежащих нагартровке, подается краном на стеллаж, расположенный у подводящего стола. Укладчиком лист снимается со стопы и переносится на подводящий стол. Перед включением подводящего стола каретка натяжного устройства, как и при процессе прокатки, должна находиться в исходном положении — вблизи клетки с выходной стороны. Затем гидравлическим цилиндром нажимного устройства устанавливается раствор валков на величину толстого конца листа. При включении подводящего стола лист должен перемещаться к рабочим валкам, на ходу задевая флажок, включающий последовательно, через реле времени, гидравлическое нажимное устройство и привод натяжного устройства.

Таким образом, нагартованный лист должен обжиматься в течение всего прохода с постоянным усилием, создаваемым гидравлическим нажимным устройством и одновременно растягиваться натяжным устройством с постоянным или переменным усилием, в зависимости от разработанной технологии, обеспечивающей получение качественного листа. При выходе листа из валков задний конец листа опускается на качающуюся секцию отводящего стола и продолжает перемещаться по нему до момента освобождения переднего конца листа кареткой натяжного устройства.

После прохода листа верхний рабочий валок опускается в крайнее нижнее положение, которое фиксируется упором в гидравлическом нажимном устройстве. Затем пневматическими цилиндрами качающаяся секция отводящего стола приподнимает задний конец листа на уровень линии прокатки. Рабочие валки клетки реверсируются и качающаяся секция отводящего стола подает нагартываемый лист обратно на сторону подводящего стола.

При возвратной подаче листа тонкий конец последнего встречает на своем пути минимальный раствор валков, установленный, как указано выше, упором гидравлического нажимного устройства. При прохождении листа через рабочие валки раствор последних меняется в продолжение всего прохода клиновидным профилем самого листа как это происходит на стане дуо 900, за счет вытеснения рабочей жидкости из цилиндров, расположенных у нажимных винтов, в систему гидравлического нажим-

ного устройства, находящуюся под определенным давлением. При выходе листа из рабочих валков на входную сторону клетки раствор валков в этом положении остается зафиксированным до получения нового импульса от флажка, находящегося на подводящем столе. Качающаяся секция стола и каретка натяжного устройства возвращаются в свои исходные положения, чем и заканчивается подготовка к новому циклу прокатки.

Из описанной работы стана (при нагартровке) следует, что нагартровка в нечетных проходах производится с натяжением, а в четных проходах — без натяжения.

Правка листов переменного сечения

Профиль бочки прокатного валка и схема обжатий при прокатке листов переменного сечения выбираются таким образом, чтобы обеспечить хорошую выкатку (без хлопунгов и гофра) на толстой части клиновидного листа. При этом тонкий конец листа может иметь некоторые дефекты выкатки, которые затем исправляются при последующей правке листов растяжением.

Правка клиновидных листов из дюралюминия с клиновидностью до 0,5 мм/м производится в свежезакаленном состоянии и осуществляется в следующем порядке:

а) предварительная правка листов на роликовых машинах обычной конструкции; при этом устраняется коробоватость, полученная при закалке листов; б) прогладка листов на специально оборудованном стане, обеспечивающем прокатку клиновидных листов с малым обжатием при постоянном усилии на валках (при помощи вышеописанных гидравлических цилиндров, установленных под нажимными винтами рабочей клетки стана) и в) окончательная правка листов на правильно-растяжной машине; при этом усилие растяжения выбирается в зависимости от площади сечения тонкого конца листа.

Качественная правка клиновидных листов, различных по толщине переднего и заднего концов, не может быть осуществлена на растяжных машинах, и для этой цели должны применяться специализированные роlikо-правильные машины, описание которых приводится ниже.

Особенность машины заключается в том, что расстояние между осями верхних и нижних правильных роликов в процессе правки непрерывно увеличивается пропорционально увеличению толщины сечения полосы по мере ее продвижения или, наоборот, уменьшается, если лист движется толстым концом вперед.

На рис. 60 показана машина для правки листов толщиной от 1 мм у тонкого конца до 4 мм у толстого.¹ Клиновидность листа в пределах 0,15—0,75 мм/м.

¹ ВНИИМЕТМАШ спроектированы роlikо-правильные машины аналогичного типа для правки листов переменного сечения других размеров.

Скорость правки 20 м/мин.

По своей конструкции машина аналогична обычным листо-правильным машинам. Расстояние между осями верхних и нижних правильных роликов в процессе правки изменяется при помощи подвижной верхней станины, в которой смонтированы правильные ролики. Станина перемещается электродвигателем, управляемым по специальной электрической схеме. Машина имеет 17 правильных роликов диаметром 90 мм; шаг роликов 100 мм.

Правильная машина состоит из верхней и нижней станин сварной конструкции, в каждой из которых смонтирован комплект правильных роликов: 9 в верхней и 8 в нижней станине. Для уменьшения прогиба рабочих роликов предусмотрены холостые опорные ролики. Каждый ряд правильных роликов имеет четыре секции опорных роликов. Перемещением механизма опорных роликов верхнего ряда создается возможность предварительного прогибания рабочих роликов под любой секцией опорных роликов. Этим пользуются для устранения местной коробоватости выправляемых листов.

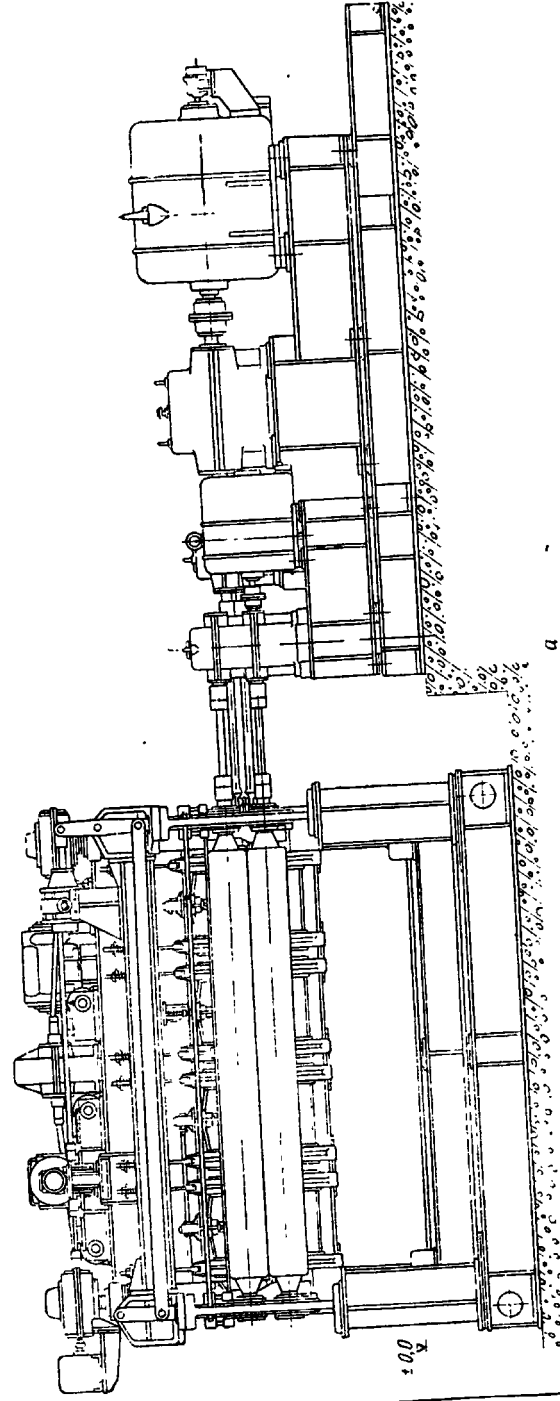
Все правильные ролики приводятся от шестеренной клетки посредством универсальных шпинделей. Мощность главного двигателя 60 квт при 500/1500 об/мин.

На рис. 61 показана конструкция механизма перемещения верхней станины машины для правки листов переменного сечения.

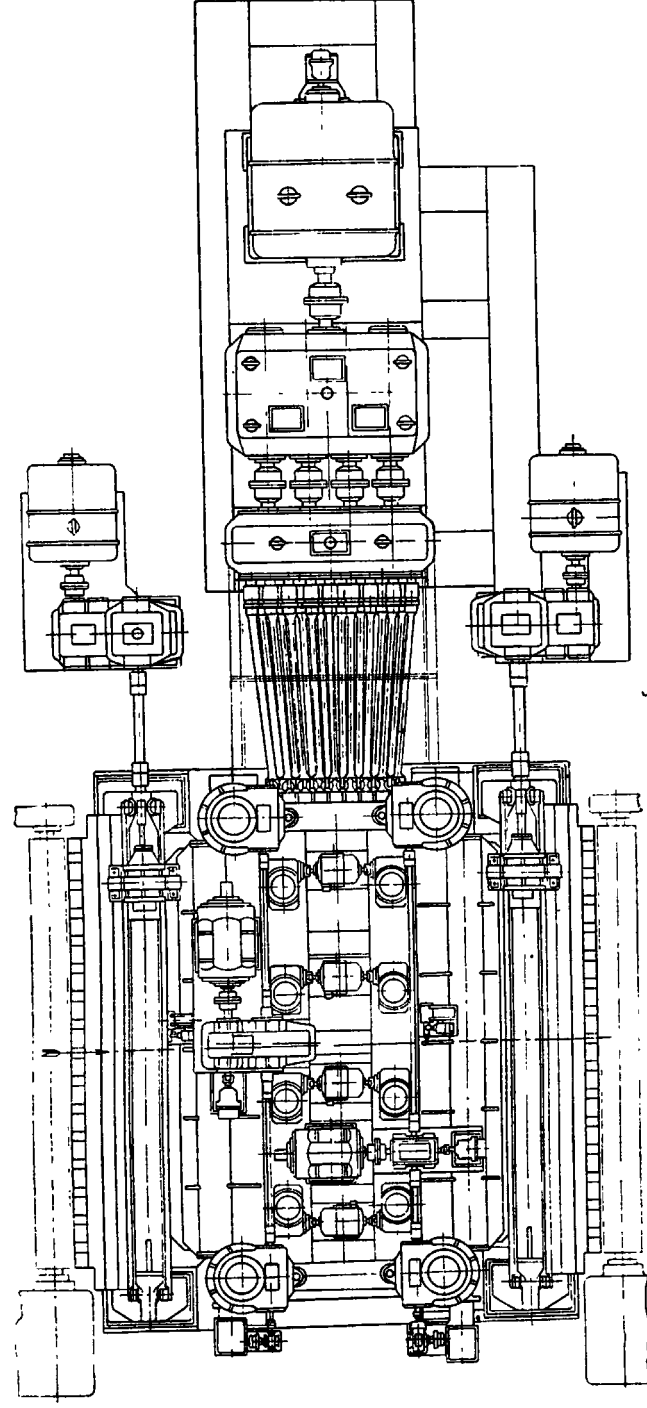
Верхняя станина упирается на четыре пружины, уложенные в гнезда нижней станины. Сквозь пружины проходят четыре колонны (нажимные винты), которые соединяют обе станины. Нижней частью каждая колонна закреплена в квадратной гайке; на ее верхней части монтируется червячный редуктор, корпус которого закреплен на верхней станине. Нажимные винты входной и выходной сторон приводятся попарно от отдельного электродвигателя через систему передач, образующих нажимной механизм. При вывинчивании нажимных винтов пружины отжимают верхнюю станину, а при вращении нажимных винтов в обратную сторону — верхняя станина опускается.

В машине каждый нажимной механизм через кинематический редуктор соединен со своим командо-аппаратом (в отличие от обычных правильных машин). Эти командо-аппараты служат для автоматической установки верхних правильных роликов перед правкой каждого листа в необходимое положение, в зависимости от толщины и конусности листа. Настройка каждого командо-аппарата

Проект машины для правки листов переменного сечения разработан инж. К. С. Ковнеристым, И. Б. Рубинштейном и А. М. Маскилейсоном.



а



б

Рис. 60. Машина для правки листов переменного сечения:
а — вид сбоку; б — план

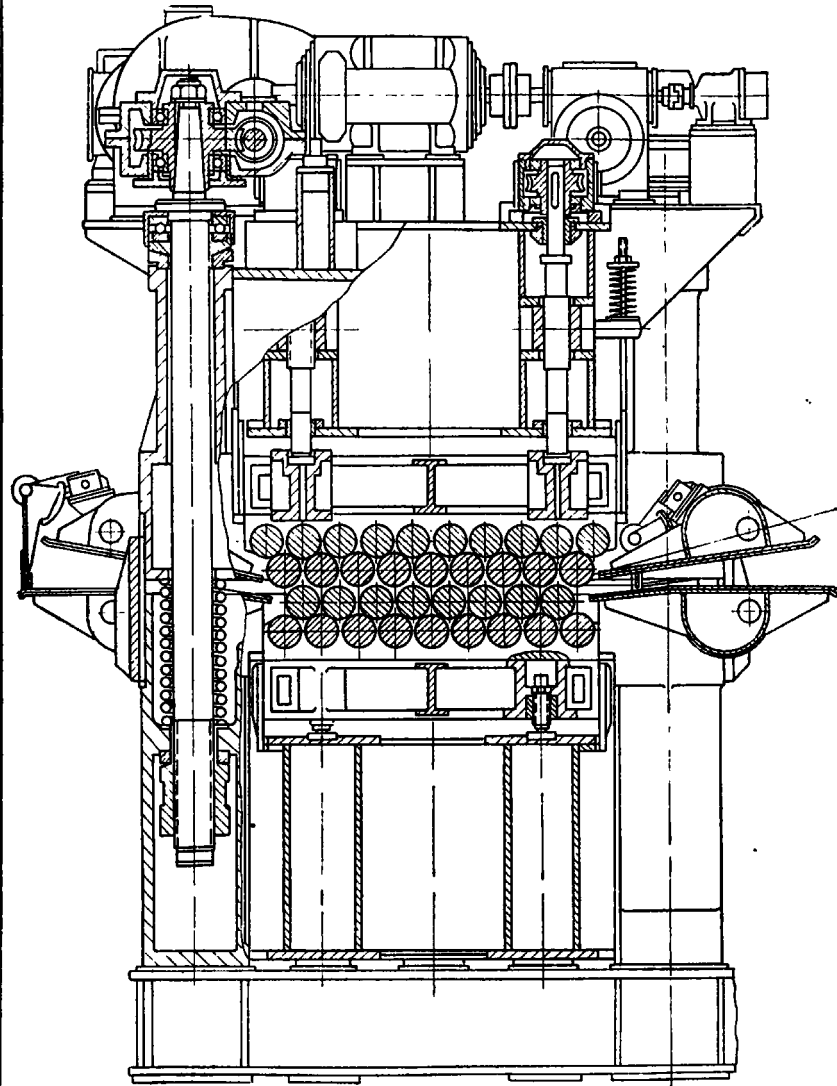


Рис. 61. Механизм перемещения верхней станины машины для правки листов переменного сечения

парата для правки нужного профиля листа производится вручную от специального червячного механизма.

На рис. 62 показана схема перемещения верхней станины во время правки листа со стороны входа A и выхода B . Значения A и B для одной из машин определяются по формулам:

$$A = h_1 - 1,43 f_1 + 0,3 \kappa; \quad (27)$$

$$B = h_1 + 0,43 f_1 - \kappa, \quad (28)$$

где h_1 — толщина тонкого конца листа, мм;

f_1 — прогиб листа под вторым роликом машины, соответствующий толщине, мм;

κ — клиновидность листа, мм/м.

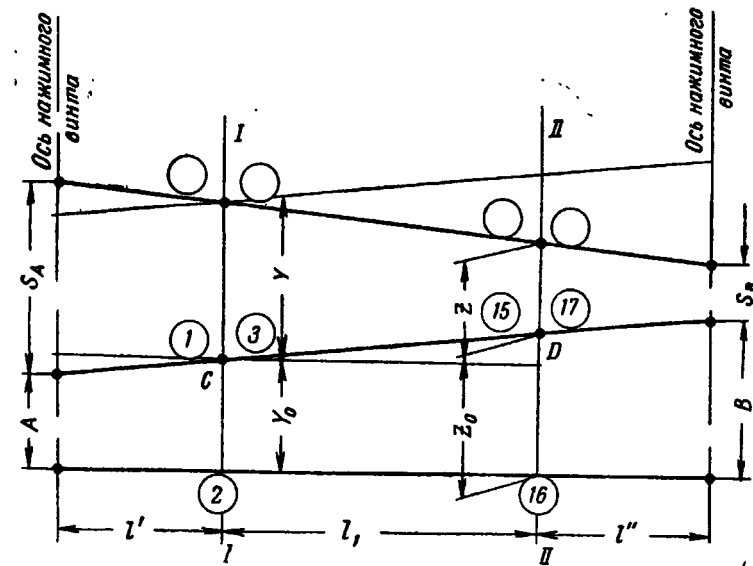


Рис. 62. Схема перемещения верхних правящих роликов при правке листа переменного сечения (цифры в кружках указывают номер правящего ролика)

Скорость подъема винта нажимного механизма (мм/мин) со стороны входа листа определяется по формуле

$$v_A = v \kappa \left(1 + 1,43 \frac{f_1}{h_2} \right), \quad (29)$$

где v — скорость правки, м/мин.;

h_2 — толщина толстого конца листа, мм.

Скорость подъема винта нажимного механизма, (мм/мин) со стороны выхода листа определяется по формуле

$$v_B = v_1 \kappa \left(1 - 0,43 \frac{f_1}{h_2} \right). \quad (30)$$

Величину f_1 можно определить приблизительно считая, что лист пластически прогибается против второго ролика машины, как балка, у которой один конец зажат, а другой свободен.

Для каждого клиновидного листа, подвергаемого правке, по соответствующим формулам можно построить графики, которые позволят быстро определить нужную скорость перемещения верхней станины правильной машины. Передний край верхней станины со стороны входа листа должен подниматься быстрее заднего края, где выходит выправленный лист. Это объясняется тем, что с входной стороны лист изгибается, а с выходной стороны свободно проходит между роликами. Скорость перемещения верхней станины синхронизирована со скоростью подачи листа, т. е. работа двигателей двух пар нажимных винтов синхронизирована с работой двигателя главного привода. Эту синхронизацию осуществляют тахомашины, установленные на всех трех двигателях.

Регулирование скорости перемещения в диапазонах 1 : 10 для нажимных винтов входной и выходной стороны осуществляется путем изменения напряжения. Каждый двигатель нажимных винтов получает питание от отдельного генератора. Специально отградуированные таховольтметры указывают фактическую скорость правки. Во время правки листов переменного сечения правильные ролики вращаются непрерывно. Листы поступают в машину тонким концом (можно настроить машину и для случая подачи листа толстым концом). Перед входом в машину лист отклоняет флажковый выключатель, который через реле времени дает импульс на включение двигателей механизмов перемещения входной и выходной сторон верхней станины.

Установленные скорости перемещения входной и выходной сторон верхней станины обеспечивают необходимое изменение раствора правильных роликов в процессе прохождения листа. Остановка перемещения станины и возврат в исходное положение происходит от флажкового выключателя, установленного на выходе из машины. Возврат станины в исходное положение происходит автоматически на максимальной скорости с переходом на «ползучую» скорость перед остановкой, что обеспечивает точность остановки.

Для ограничения максимального хода верхней станины в верх на каждой ее стороне предусмотрены конечные выключатели.

Глава VI

ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ И ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СТАНОВ ДЛЯ ПРОКАТКИ ЛИСТОВ ПЕРЕМЕННОГО СЕЧЕНИЯ

1. ГЛАВНЫЙ ПРИВОД СТАНА

Определение мощности электропривода при холодной прокатке металлов (по сравнению с горячей прокаткой) встречает ряд затруднений, так как появляются добавочные факторы, влияющие на процесс прокатки: смазка и сплющивание валков, натяжение, наклеп металла и т. д. При прокатке листов переменного сечения добавляется еще один весьма существенный фактор: изменение давления металла на валки в процессе прокатки.

Расчет мощности прокатного двигателя можно проводить двумя методами: аналитическим и с использованием опытных кривых удельного расхода электроэнергии. В практике проектных организаций широко применяется второй, более простой, метод. Однако при этом необходимо располагать кривыми удельного расхода электроэнергии, снятыми в условиях, близких к рассматриваемому случаю, что не всегда возможно.

Имеется также большое количество методов аналитических расчетов, по которым получаются результаты, хорошо согласующиеся с экспериментальными данными.

Расчет мощности двигателя главного привода по аналитическому методу

Расчет мощности и момента прокатки целесообразно, в целях проверки, осуществлять обоими методами.

Все сказанное выше относится к станам для прокатки листов как постоянного, так и переменного сечения. Методика определения давления металла на валки, момента и мощности прокатки одна и та же для обоих процессов прокатки, так как напряженное состояние в зоне деформации металла одинаково.

Момент на валу прокатного двигателя, необходимый для привода валков, складывается из четырех величин:

$$M_{дв} = M'_{пр} + M'_{тр} + M_{х.х} + M_{дин}, \quad (31)$$

где $M'_{пр}$ — приведенный к валу двигателя момент, требующийся для преодоления сопротивления деформации прокатываемого металла и возникающих при этом сил трения прокатываемого металла о поверхность валков, а также для покрытия потерь от момента прокатки в редукторе, шестеренной клетки и других частях стана;

$M'_{тр}$ — приведенный момент, требующийся для преодоления добавочных сил трения в подшипниках валков, возникающий при прокатке;

$M_{х.х}$ — приведенный момент холостого хода, необходимый для привода валков во время холостого хода;

$M_{дин}$ — приведенный динамический момент, требующийся для преодоления инерционных усилий, возникающих при неравномерной скорости вращения валков.

Ниже рассмотрим каждую составляющую в отдельности.

Определение давления на валки и момента прокатки. Момент прокатки при отсутствии упругого сжатия валков определяется из выражения:

$$M_{пр} = 2P\psi\sqrt{R\Delta h}, \quad (32)$$

где P — давление металла на валки;

ψ — коэффициент, характеризующий положение равнодействующей давления на валки; для станов холодной прокатки $\psi = 0,35-0,45$;

R — радиус рабочих валков;

Δh — линейное обжатие;

$\sqrt{R\Delta h}$ — длина дуги захвата.

В отличие от станов для прокатки листов постоянного сечения давление металла на валки P в процессе прокатки листов переменного сечения непрерывно изменяется.

Экспериментальные исследования показали, что давление металла на валки в процессе прокатки меняется примерно по линейному закону (рис. 63). Длину прокатанной клиновидной части листа l_k можно определить из выражения:

$$l_k = \frac{H_0 - h_1}{\operatorname{tg} \beta}.$$

Для построения графика распределения давления по длине листа достаточно определить давление у тонкого конца и длину клиновидной части листа.

Давление металла на валки в сечении, отстоящем на расстоянии x , равно

$$P_x = p_{ср.х} F_x, \quad (33)$$

где $p_{ср.х}$ — среднее удельное давление в сечении x ;
 F_x — контактная площадь в сечении x ;

Величину контактной площади F_x находим по формуле:

$$F_x = \frac{b_0 + b_1}{2} \sqrt{R \cdot \Delta h_x}, \quad (34)$$

где b_0 и b_1 — ширина листа до и после прокатки;

Δh_x — линейное обжатие полосы в сечении x .

Величину среднего удельного давления прокатываемого металла на валки определим вначале для случая прокатки без натяжения и отсутствия упругого сжатия валков.

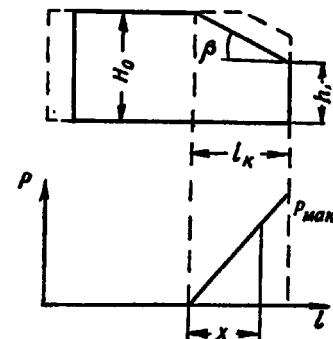


Рис. 63. Распределение давления по длине прокатанной части листа

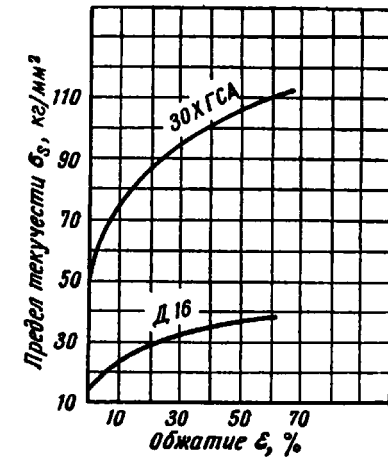


Рис. 64. Зависимость предела текучести от обжатия полосы при холодной прокатке стали марки 30ХГСА и дюралюмина марки Д16

Воспользуемся формулой А. И. Целикова для определения величины среднего удельного давления:

$$p_{ср.х} = k \frac{2h_{1х}}{\Delta h_x (\delta_x - 1)} \left(\frac{h_{нх}}{h_{1х}} \right) \left[\left(\frac{h_{нх}}{h_{1х}} \right)^{\delta} - 1 \right]; \quad (35)$$

$$k = n_o n_v n_n \sigma_s. \quad (36)$$

где n_o — коэффициент напряженного состояния, учитывающий влияние внешнего трения и натяжения на удельное давление; если натяжение отсутствует и влияние внешнего трения мало, $n_o = 1,15$;

n_v — коэффициент, учитывающий скорость деформации; при холодной прокатке $n_v \approx 1$;

n_n — коэффициент наклепа, учитывающий повышение предела текучести при прокатке вследствие упрочнения прокатываемого металла. Этот коэффициент при холодной прокатке учитывается тем, что в уравнение (36) под-

ставляется среднее значение предела текучести до прокатки и после прокатки, т. е.

$$n_n \sigma_s = \frac{\sigma_{s_0} + \sigma_{s_1}}{2}, \quad (37)$$

где σ_{s_0} — предел текучести до прокатки;
 σ_{s_1} — предел текучести после прокатки.

Величина σ_{s_1} определяется по кривым в зависимости от общего относительного обжатия (рис. 64). Таким образом для прокатки листов переменного сечения

$$k = 1,15 \frac{\sigma_{s_0} + \sigma_{s_1}}{2}, \quad (36a)$$

где $h_{0,x}$ и $h_{1,x}$ — высота сечения прокатываемой полосы до и после прокатки;

$h_{n,x}$ — высота прокатываемой полосы в нейтральном сечении;

δ_x — коэффициент, равный

$$\delta_x = 2\mu \sqrt{\frac{R}{\Delta h_x}}, \quad (38)$$

где μ — коэффициент трения между металлом и валками.

Отношение $\frac{h_{n,x}}{h_{1,x}}$ равно

$$\frac{h_{n,x}}{h_{1,x}} = \left[\frac{1 + \sqrt{1 + (\delta_x^2 - 1) \left(\frac{h_{0,x}}{h_{1,x}} \right)^{\delta_x}}}{\delta_x + 1} \right]^{\frac{1}{\delta_x}} \quad (39)$$

Для облегчения расчетов среднего удельного давления следует пользоваться кривыми, построенными по уравнению:

$$\frac{P_{cp}}{k} = f(\delta, \varepsilon).$$

Эти кривые приведены на рис. 65. По оси ординат отложено значение $\frac{P_{cp}}{k}$, по оси абсцисс относительное обжатие $\varepsilon = \frac{\Delta h_x}{h_{x0}}$.

Последовательность расчета среднего удельного давления следующая. Определяется относительное обжатие $\varepsilon = \frac{\Delta h_x}{h_{x0}}$ и коэффициент δ_x . По кривым рис. 65 находится $\frac{P_{cp}}{k} = f(\varepsilon, \delta)$. Далее определяется коэффициент k по выражению (36a) и по кривым определяется зависимость предела текучести от общего относительного обжатия (например, для дюралюминия и стали хром-ансиль по рис. 64).

После определения среднего удельного давления и контактной площади по уравнению (33) рассчитывается давление металла на валки, а по уравнению (32) — момент прокатки $M_{пр}$.

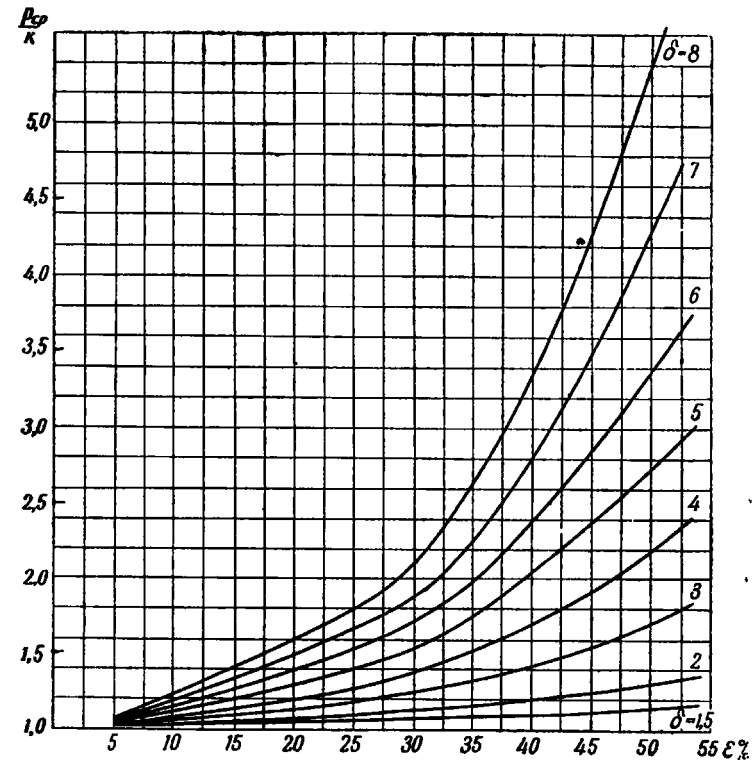


Рис. 65. Среднее удельное давление в зависимости от относительного обжатия и коэффициента (δ)

Приведенный к валу электродвигателя момент прокатки с учетом потерь в редукторе и шестеренной клетке запишется

$$M'_{пр} = \frac{M_{пр}}{i \eta}, \quad (40)$$

где i — передаточное число от двигателя к валкам;

η — общий коэффициент полезного действия передачи.

Станы для прокатки листов переменного сечения в ряде случаев снабжаются натяжным устройством. В этом случае прокатка происходит с передним натяжением, что способствует умень-

шению среднего удельного давления, которое может быть определено по формуле А. А. Королева:

$$P_{\text{ср}}^{\text{н}} = (1 - n_{\sigma}) \cdot P_{\text{ср}}, \quad (41)$$

где $P_{\text{ср}}^{\text{н}}$ — среднее удельное давление при прокатке с натяжением;

$P_{\text{ср}}$ — среднее удельное давление при прокатке без натяжения;

n_{σ} — коэффициент, учитывающий влияние переднего натяжения.

$$n_{\sigma} = \frac{\sigma_1}{2k} \frac{\delta_x}{\delta_x + 1}, \quad (42)$$

где σ_1 — удельное натяжение.

Таким образом, для определения среднего удельного давления при прокатке с натяжением достаточно определить по описанной выше методике среднее удельное давление для прокатки без натяжения и внести поправку по уравнению (42).

В ряде случаев для более точного определения давления металла на валки необходимо также учитывать упругое сжатие (сплющивание) валков. Наибольшее распространение получил метод, заключающийся в следующем.

1. Определяется длина дуги захвата и среднее удельное давление металла на валки без учета сплющивания валков по методике, изложенной выше.

2. Задаются величиной среднего удельного давления, превосходящей величину, полученную в пункте 1, и рассчитывают длину дуги захвата с учетом сплющивания по формуле

$$l_d = x_0 + \sqrt{R \Delta h + x_0^2}, \quad (43)$$

где $x_0 = \frac{P_{\text{ср}} R}{9500}$ мм (для стальных валков);

$P_{\text{ср}}$ — среднее удельное давление металла на валки, кг/мм².

3. По определенной величине длины дуги захвата l_d рассчитывается среднее удельное давление и сравнивается с величиной удельного давления, которой задались ранее. Если они не совпадают, то расчет повторяют, задавшись новым значением среднего удельного давления.

Определение момента добавочных сил трения в подшипниках клетки. Момент добавочных сил трения в подшипниках клетки возникает при наличии металла в валках и может быть определен по формуле

$$M_{\text{тр}} = Pd \mu_n, \quad (44)$$

где d — диаметр цапф валков;

μ_n — коэффициент трения в подшипниках валков.

Для подшипников качения и жидкостного трения $\mu_n = 0,003$, для подшипников скольжения с текстолитовыми и пластмассовыми вкладышами $\mu_n = 0,01 \div 0,03$.

Приведем момент добавочных сил трения к валу электродвигателя, будем иметь:

а) для стана дуо

$$M'_{\text{тр}} = \frac{Pd \mu_n}{i \eta}; \quad (45)$$

б) для стана кварто

$$M'_{\text{тр}} = \frac{Pd \mu_n}{i \eta} \cdot \frac{D_p}{D_{\text{оп}}}, \quad (46)$$

где D_p и $D_{\text{оп}}$ — диаметры рабочих и опорных валков.

Момент холостого хода. Момент холостого хода может быть подсчитан исходя из веса вращающихся деталей и радиусов кругов трения в их подшипниках:

$$M_{\text{х.х}} = \sum_{n=1}^N \frac{G_n \cdot \mu_n \cdot d_n}{i_n \cdot 2}, \quad (47)$$

где G_n — вес детали.

В практических расчетах часто принимают момент холостого хода равным 5—10% номинального момента двигателя.

Динамический момент. Прокатка листов переменного сечения происходит при постоянной скорости валков и при неререверсивном режиме работы. В связи с этим динамический момент равен нулю (если пренебречь динамическим моментом, возникающим в момент задачи металла в валки). При дрессировке и нагартовке листов переменного сечения режим работы реверсивный. Динамический момент определяется по уравнению

$$M_{\text{дин}} = \frac{GD^2}{375} \frac{dn}{dt} \text{ кгм}, \quad (48)$$

где GD^2 — маховой момент привода, кгм²;

$\frac{dn}{dt}$ — ускорение (замедление) привода, об/мин/сек.

Выбор электродвигателя. Выбор мощности двигателя производится по двум показателям: мгновенной перегрузке и нагреву.

Наибольший момент нагрузки на валу двигателя должен быть меньше или равным максимально допустимому по перегрузке моменту, т. е.

$$M_{\text{макс}} \leq k_n M_n, \quad (49)$$

где M_n — номинальный момент двигателя;

k_n — коэффициент перегрузки. Для двигателей постоянного тока он определяется коммутацией, а для двигателей переменного тока опрокидывающим моментом.

Значение коэффициента перегрузки приводится в каталогах и в формулярах электрических машин.

При выборе двигателя по нагреву необходимо, чтобы температура его обмоток не превосходила определенного значения. Это условие будет выполняться, если эквивалентный (среднеквадратичный) ток нагрузки двигателя не будет превосходить его номинального тока, т. е.

$$I_{\text{ср. кв}} \leq I_n. \quad (50)$$

Для двигателей постоянного тока с независимым возбуждением, асинхронных и синхронных двигателей переменного тока момент пропорционален току, так как магнитный поток двигателя примерно постоянный. Поэтому двигатель будет удовлетворительным по нагреву, если

$$M_{\text{ср. кв}} < M_n. \quad (51)$$

Определение среднеквадратичного момента или тока возможно при наличии графика нагрузки, для построения которого необходимо знать момент прокатки, момент холостого хода и продолжительность прокатки и пауз.

На рис. 66 изображены упрощенные графики статической нагрузки при прокатке листов переменного сечения.

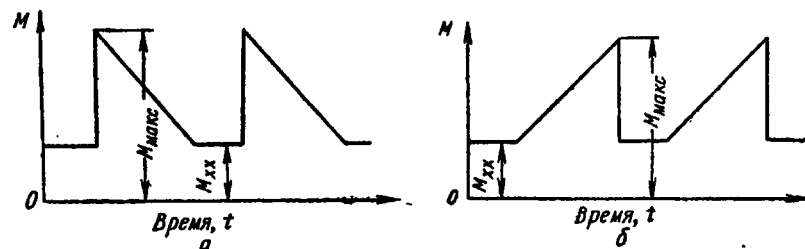


Рис. 66. График статической нагрузки при прокатке листов переменного сечения:

а — на «отжим»; б — на «поджим»

При трапецеидальном графике нагрузки среднеквадратичный момент определяется по формуле:

$$M_{\text{ср. кв}} = \sqrt{\frac{\frac{1}{3}(M_{\text{макс}}^2 + M_{\text{макс}} M_{\text{х.х}} + M_{\text{х.х}}^2) t_{\text{пр}} + M_{\text{х.х}}^2 t_{\text{х.х}}}{t_{\text{ц}}}}, \quad (52)$$

где $M_{\text{макс}}$ — максимальный момент на валу двигателя (у тонкого конца листа);

$M_{\text{х.х}}$ — момент холостого хода;

$t_{\text{пр}}$ — продолжительность прокатки, определяемая, как $t_{\text{пр}} = \frac{l_k}{v_{\text{пр}}}$;

$v_{\text{пр}}$ — скорость прокатки;

l_k — длина клиновидной части листа;

$t_{\text{х.х}}$ — продолжительность паузы;

$t_{\text{ц}}$ — продолжительность цикла прокатки: $t_{\text{ц}} = t_{\text{пр}} + t_{\text{х.х}}$.

При расчете по среднеквадратичному току в уравнение (52) вместо момента необходимо подставлять соответствующие значения токов двигателя.

Среднеквадратичная мощность двигателя

$$N_{\text{ср. кв}} = \frac{M_{\text{ср. кв}} n}{975} \text{ квт}. \quad (53)$$

По условиям нагрева номинальная мощность двигателя должна быть

$$N_{\text{ср. кв}} < N_n. \quad (54)$$

Прокатка листов переменного сечения, как указывалось выше, производится при постоянной скорости и направлении вращения валков. В связи с этим наиболее рациональным был бы привод двигателем переменного тока, синхронным или асинхронным. Однако на стане проводят дрессировку и нагартровку листов переменного сечения и при этом режиме двигатель реверсируется. Кроме того, эти станы одновременно служат для прокатки листов постоянного сечения. Поэтому для привода валков выбирают двигатель постоянного тока, управляемый по системе генератор — двигатель.

Расчет мощности двигателя главного привода по методу кривых удельного расхода электроэнергии

Прокатка листов переменного сечения на станах с гладкой бочкой по условиям деформации прокатываемого металла в каждый момент времени, как указывалось выше, не отличается от прокатки листов постоянного сечения. Поэтому мощность и момент прокатки для листов переменного сечения определяют по кривым удельного расхода электроэнергии, снятых экспериментально для листов постоянного сечения. На рис. 67 и 68 в качестве примера приведены кривые удельного расхода электроэнергии при холодной прокатке листов из стали и дюралюмина.

Момент прокатки (без учета момента холостого хода) определяется по формуле

$$M_{\text{пр}} + M_{\text{тр}} = 135 (\omega_2 - \omega_1) \gamma F D \text{ тм}, \quad (55)$$

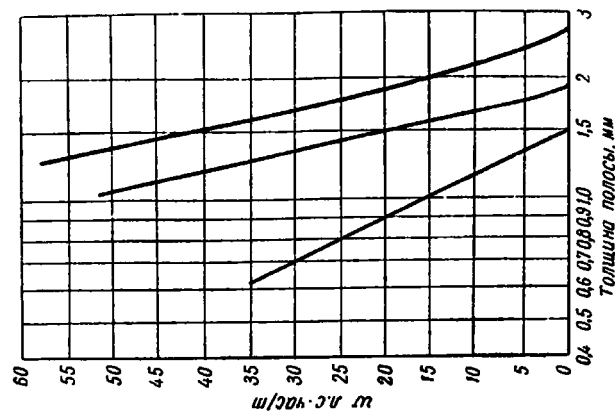


Рис. 68. Кривые удельного расхода электроэнергии при холодной прокатке алюминия

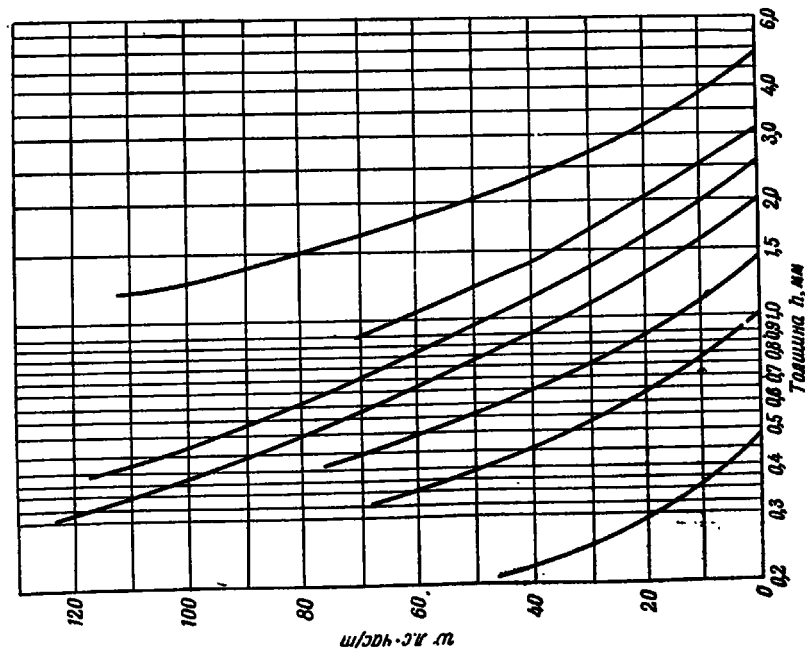


Рис. 67. Кривые удельного расхода электроэнергии при холодной прокатке малоуглеродистой стали

где $(w_2 - w_1)$ — удельный расход электроэнергии, определяемый по кривой удельного расхода электроэнергии в зависимости от толщины полосы, л. с. · час/т;

γ — удельный вес, т/м³;

F — площадь сечения полосы после прокатки, м²;

D — диаметр валков, м.

Мощность, затрачиваемую на прокатку и потери на трение в подшипниках валков (без учета мощности холостого хода), определяют по формуле

$$N = \frac{3600 (w_2 - w_1)}{t} G \text{ л. с.}, \quad (56)$$

где G — вес полосы, т; t — время прокатки, сек.

или

$$N = 0,736 \frac{3600 (w_2 - w_1)}{t} \gamma FL = 2649,6 (w_2 - w_1) = \gamma F v_{пр}, \text{ квт.} \quad (56a)$$

где $v_{пр}$ — скорость прокатки.

Для определения полного момента прокатки и полной мощности необходимо предварительно вычислить момент и мощность холостого хода.

Для правильного расчета момента и мощности прокатки необходимо выбирать кривую удельного расхода, наиболее близкую по условиям прокатки к рассматриваемому случаю. Начальная толщина по кривой должна равняться исходной толщине прокатываемого листа. Если такую кривую подобрать нельзя, то можно, для приближенного расчета, провести кривую параллельно имеющейся с начальной точкой, соответствующей исходной толщине листа.

В тех случаях, когда в процессе прокатки производится отжиг листов, для последующих проходов расчет следует производить по другим кривым удельного расхода электроэнергии, по которым начальная толщина равна толщине листа после отжига.

В связи с примерно линейным законом изменения давления металла на валки (по длине прокатываемого листа), момент и мощность прокатки также изменяются примерно по линейному закону. Поэтому в практических расчетах достаточно определить момент и мощность прокатки у тонкого конца листа.

Проверку мощности двигателя главного привода стана для прокатки листов переменного сечения рассмотрим на нижеследующем примере.

Диаметр рабочих валков, мм	600
Диаметр опорных валков, мм	1400
Длина бочки валков, мм	2800
Диаметр цапф опорных валков, мм	360
Максимальнодопустимое давление на галок, т	2200
Скорость прокатки листов, м/сек	0,5
Общее передаточное число	16,09

Общий к. п. д. редуктора и шестеренной клетки	0,83
Подшипники качения, коэффициент трения	0,003
Удельное переднее натяжение, кг/мм^2	4
Двигатель стан: МП8-1000, 736 квт, 440 в, 2870 кгм , 250/550 об/мин	
Ширина листа, мм	2500
Конечная длина листа L_k , м	8 и 6
Толщина, мм:	
толстого конца H_0	6
тонкого конца h_k	2 и 3
Коэффициент клиновидности, мм/м	0,5

Прокатка листов производится на «отжим».

Проверка мощности двигателя при прокатке листов длиной 8 м проводится аналитическим методом, для листов длиной 6 м — аналитическим и с использованием кривых удельного расхода электроэнергии.

В табл. 11 и 12 приведены ориентировочные обжатия по проходам и результаты расчета.

Таблица 11

Пример проверки мощности главного привода двигателя с использованием кривых удельного расхода электроэнергии

	Номер прохода		
	1	2	3
Толщина тонкого конца, мм:			
до прокатки, h_0	6	4,5	3,5
после прокатки h_1	4,5	3,5	3
Удельный расход электроэнергии при:			
начальной толщине, ω_1 , л.с.·час/т	0	17,5	38,5
конечной толщине, ω_2 , л.с.·час/т	17,5	38,5	52,5
Удельный расход электроэнергии за пропуск $\Delta\omega$, л.с.·час/т	17,5	21	14
Площадь поперечного сечения F , м^2	0,0112	0,00875	0,0070
Момент прокатки $M_{пр} + M_{тр}$, кгм	43280	40250	23000
Мощность прокатки N , квт	700	660	376
Момент на валу двигателя $M_{дв}$, кгм	2830	2660	1570
Мощность на валу двигателя $N_{дв}$, квт	740	700	416
Длина прокатанной клиновидной части листа l_k , м	3	5	6
Продолжительность прокатки $t_{пр}$, сек.	6	10	12
Продолжительность холостого хода (пауза) $t_{х-х}$, сек.	12	8	6
Среднеквадратичный момент $M_{ср. кв.}$, кгм	975	1180	785
Среднеквадратичная мощность $N_{ср. кв.}$, квт	255	309	205
Загрузка по среднеквадратичному моменту $\frac{M_{ср. кв.}}{M_H} 100, \%$	34	41,2	27
Загрузка по моменту $\frac{M_{дв}}{M_H} 100, \%$	98,6	92,5	54,6

Таблица 12

Пример проверки мощности двигателя главного привода аналитическим методом

Номер прохода	Толщина тонкого конца полосы мм		Обжатие		$k = 1,15 \frac{\sigma_0 + \sigma_1}{2}$ кг/мм ²	Коэффициент, δ	$\frac{F_{ср}}{l}$ (по графику на рис. 65) т	Среднее удельное давление (без учета переднего на- тяжения) $P, \text{ кг/мм}^2$	Длина дуги захвата l , мм	Контактная площадь F , мм ²	Давление металла на вал- ки P , т	Момент прокатки, прива- денный к валу двигателя $M_{пр}$, кгм	Момент добовочных сил трения в подшипниках ва- лов, приведенный к валу двигателя $M_{тр}$, кгм	Полный момент на валу двигателя $M_{дв}$, кгм	Длина прокатанной клино- видной части листа l , м	Продолжительность про- катки $t_{пр}$, сек.	Продолжительность холо- стого хода (пауза) $t_{х-х}$, сек.	Среднеквадратичный мо- мент $M_{ср}$, кн, кгм	Среднеквадратичная мощ- ность $N_{ср}$, кн, кат	Загрузка по среднеквадра- тичному моменту $M_{ср}$, кв	$\frac{M_{дв}}{M_H}$ 100, %	$\frac{M_H}{M_{дв}}$ 100, %	Среднее удельное давление с учетом переднего на- тяжения $\sigma_{ср}$, кг/мм ²	
	h_1 после прокатки,	h_0 до прокатки,	мм	относительное ϵ , %																				относительное суммарное, %
Лист 8000 × 2500 × 6 × 2 мм																								
1	6	4,8	1,2	20	25,9	4,75	1,27	32,9	18,9	47500	1560	1990	54,2	2184	2,4	4,8	30,2	504	129	17,5	76,5	30,8		
2	4,8	4	0,8	16,6	33,3	3,3	1,27	45,2	15,4	38800	1750	1830	60,8	2031	4	8	27	600	154	20,9	70	43		
3	4	3,5	0,5	12,5	41,6	6	1,27	50	12,2	30700	1535	1270	53,25	1463	5	10	25	487	125	17	51	47,7		
Лист 6000 × 2500 × 6 × 3 мм																								
4	3,5	2,8	0,7	20	25,9	6,2	1,4	36,3	14,4	36200	1310	1280	45,4	1465	6,4	12,8	82,2	547	140	19	51	34,2		
5	2,8	2,3	0,5	17,9	34,3	3,3	1,44	52,7	12,2	30700	1620	1340	56,2	1436	7,4	15,4	19,6	575	147	20	50	50,2		
6	2,3	2	0,3	13	42,9	4,9	1,42	57,2	9,45	23700	1350	864	46,9	1051	8	16	19	469	120	16,3	36,6	54,6		
Лист 8000 × 2500 × 6 × 2 мм																								
1	6	4,5	1,5	25	26,9	4,3	1,33	35,9	21,2	53000	1890	2715	65,5	2921	3	6	12	1010	258	35,1	102	33,6		
2	4,5	3,5	1,2	22,2	38,2	5,2	1,37	52,3	17,3	43250	2265	2650	78,7	2859	5	10	8	1280	328	44,5	99,5	50,2		
3	3,5	3	0,5	14,3	50,4	5,4	1,32	54,5	12,25	30600	1670	1380	58	1578	6	12	6	780	200	27,2	55	52,2		

При расчете аналитическим методом было принято:

- а) коэффициент трения между валками и листом $\mu = 0,15$;
- б) коэффициент положения равнодействующей давления металла на валки $\psi = 0,45$;
- в) момент холостого хода принят равным 5% от номинального момента двигателя, т. е. 140 кгм;
- г) удельный вес прокатываемого металла принят $\gamma = 2,7 \text{ т/м}^3$.

Из расчета видно, что двигатель выбран с запасом по мощности и моменту.

Схема управления двигателем главного привода

Для промышленных станов, предназначенных для прокатки листов переменного сечения, наиболее целесообразным, как указывалось выше, является применение для привода валков двигателя постоянного тока, управляемого по системе генератор — двигатель.

К схеме управления предъявляются следующие требования:

- 1) она должна обеспечивать реверсивную работу;
- 2) иметь несколько ступеней скорости;
- 3) во всем диапазоне рабочих нагрузок скорость вращения главного двигателя должна оставаться постоянной. При превышении заданного предела нагрузки необходимо снижать скорость вращения двигателя.

Для выполнения поставленных требований целесообразно использовать схему электромашинного управления. На рис. 69 приведен пример упрощенной схемы ручного управления главным приводом промышленного стана для прокатки листов переменного сечения.

В качестве возбудителя генератора в данной схеме применен электромашинный усилитель (ЭМУ), имеющий несколько обмоток управления.

Схема управления предусматривает совмещенные или комбинированные отсекки и торможение противовключением задающей обмотки. Эта схема нашла широкое распространение в связи с отсутствием специальных эталонов для напряжения сравнения при получении отсечек¹.

С валом двигателя связан тахогенератор, служащий для согласования скорости нажимного механизма с главным приводом. В цепь обмотки возбуждения тахогенератора включен бареттер, предназначенный для поддержания тока возбуждения

¹ Схема с совмещенными отсекками подробно описана в книге А. Б. Челюстин и Е. А. Розенмана. Автоматическое управление прокатными станами, Металлургия, 1955.

постоянным. В ряде случаев вместо бареттера используется питание обмотки возбуждения от магнитного усилителя.

2. ПРИВОД МЕХАНИЗМА ДЛЯ УСТАНОВКИ ВЕРХНЕГО ВАЛКА

Нажимной механизм стана для прокатки листов переменного сечения предназначен для перемещения верхнего валка в процессе прокатки со скоростью, пропорциональной скорости вращения валков.

Статический момент определяется так же, как и для нажимного механизма обычных станов по формуле:

$$M = (P + Q) \left[\frac{d_3}{3} \mu + \frac{d_{cp}}{2} \operatorname{tg}(\varphi \pm \alpha) \right], \quad (57)$$

- где P — давление металла на валки;
 Q — неуравновешенный вес верхнего валка и других движущихся частей;
 d_3 — диаметр круга соприкосновения нажимного винта со стаканом;
 d_{cp} — средний диаметр резьбы нажимного винта;
 μ — коэффициент трения между нажимным винтом и стаканом;
 φ — угол трения в резьбе;
 α — угол подъема резьбы.

Знак плюс относится к случаю опускания валка (работа на «поджим»), знак минус к подъему валка (работа на «отжим»).

Статический момент, приведенный к валу электродвигателя, запишется

$$M_A = \frac{M}{i_{общ} \eta}, \quad (58)$$

где $i_{общ}$ — передаточное число;

η — коэффициент полезного действия.

Как было указано ранее величина давления металла на валки P в процессе прокатки меняется примерно по линейному закону. В соответствии с этим статический момент нажимного механизма при прокатке на «поджим» меняется так же, примерно линейно от момента холостого хода до максимального значения, а при прокатке на «отжим» — от максимального момента до момента холостого хода.

Характер изменения статического момента нажимного механизма приведен на рис. 70.

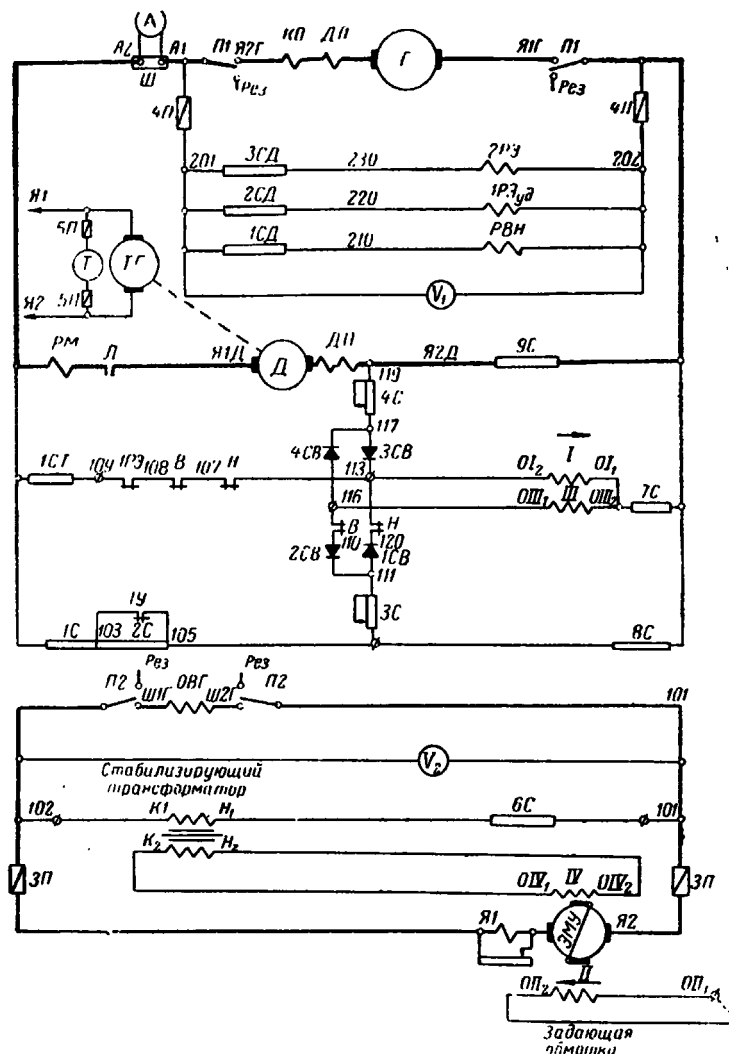
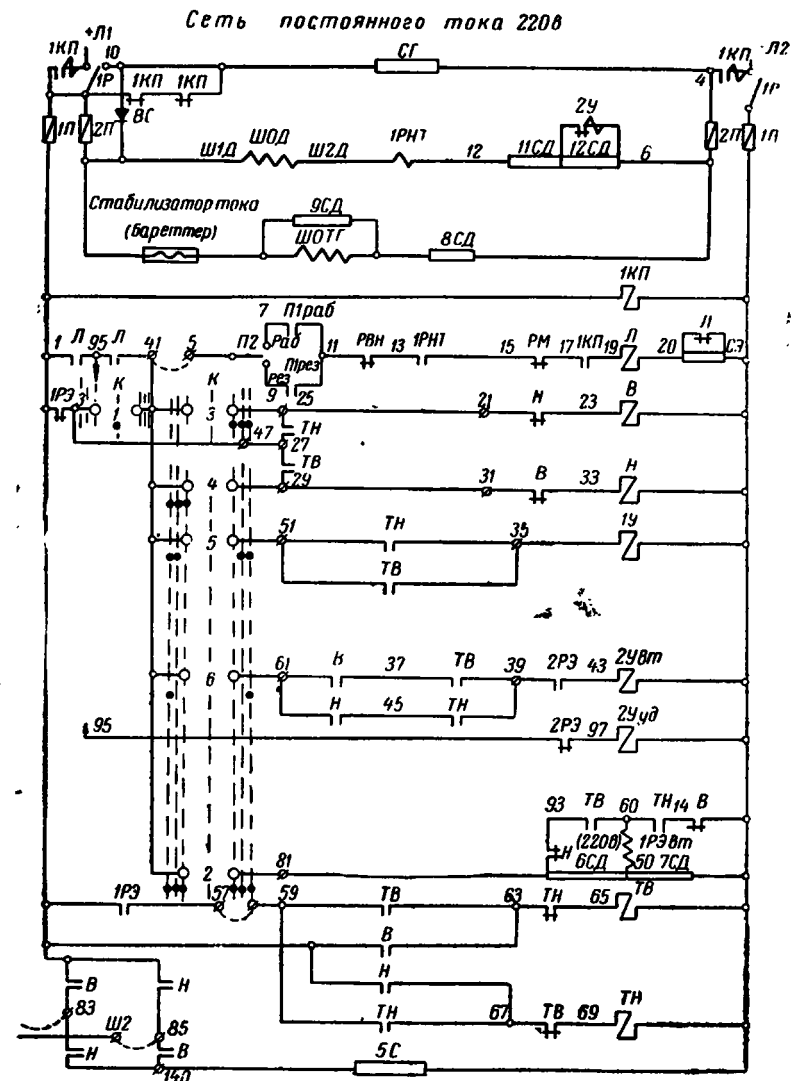


Рис. 69. Упрощенная схема ручного управления главным
Г — генератор; Д — двигатель; ТГ — тахогенератор; ЭМУ —
ротора; ШОД — обмотка возбуждения двигателя; ШОТГ —
ЭМУ; А — амперметр; V_1 и V_2 — вольтметры; Т — тахосчетчик,
хранитель; Л — линейный контактор; В и Н — контакторы
возможные; ИКП — контактор поля; РМ — реле
высокого напряжения; ИРЭ — реле низкого напряжения; 2Э —
12СД — добавочные сопротивления; ИС — 9С, 1СТ, СЭ, СГ —
К — командо-контроллер; Ш — шунт



приводом стана для прокатки листов переменного сечения:
электромагнитный усилитель; ОВГ — обмотка возбуждения гене-
шунтовая обмотка тахогенератора; I—IV — обмотки управления
П1 и П2 — переключатели; ИР — рубильник; ИП — 5П — предо-
направления; ИУ и ИВ — контакторы скоростей; ТВ и ТН — тор-
максимальной защиты; ИРНТ — реле нулевого тока; РВН — реле
полного напряжения; ИСД — 8СД, 6СД — 9СД, 11СД,
сопротивления; ИСВ — 4СВ, ВС — полупроводниковые вентили;

Скорость перемещения верхнего валка, как указывалось выше, пропорциональна скорости его вращения, т.е. скорости прокатки:

$$v_v = kv_{пр}, \quad (59)$$

где $v_{пр}$ — скорость прокатки, м/сек;
 k — коэффициент клиновидности с учетом упругой деформации клетки, мм/м.

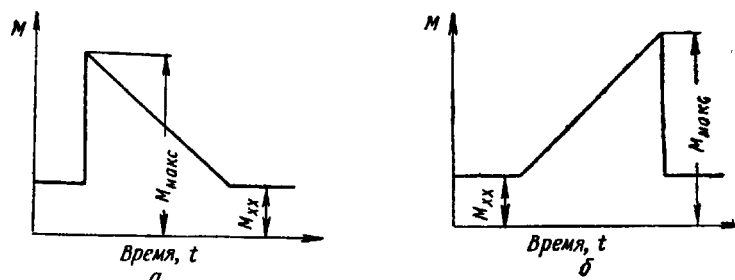


Рис. 70. Характер изменения статического момента нажимного механизма стана для прокатки листов переменного сечения:
 а — работа на «отжим»; б — работа на «поджим»

Мощность двигателя нажимного механизма определяется моментом нагрузки на валу и скоростью перемещения винтов.

Статический момент нагрузки на валу двигателя имеет большую величину, так как перемещение валка происходит в процессе прокатки.

Скорость перемещения валка, как это следует из формулы (59), зависит от скорости прокатки. С точки зрения производительности желательно скорость $v_{пр}$ иметь возможно большей. Однако это приводит к значительному повышению скорости перемещения валка, а следовательно, и потребной мощности.

Для тонколистовых станов горячей прокатки листов постоянного сечения статический момент нажимных механизмов также имеет большую величину из-за необходимости регулирования толщины прокатываемой полосы во время прокатки. Однако мощность двигателей нажимных механизмов этих станов значительно меньше, чем станов для прокатки листов переменного сечения.

Это определяется двумя причинами.

1. Скорость перемещения валка для тонколистовых станов горячей и холодной прокатки листов постоянного сечения в 10—20 раз меньше, чем у станов для прокатки листов переменного сечения (табл. 13).

Таблица 13

Средние скорости перемещения верхнего валка листовых станов

Наименование стана	Скорость перемещения мм/сек
Станы кварто для горячей прокатки тонких листов постоянного сечения	0,1—0,2
Станы для холодной прокатки листов постоянного сечения . .	0,05—0,1
Станы для холодной прокатки листов переменного сечения . .	1—2

2. Продолжительность включения двигателей нажимных механизмов тонколистовых станов горячей прокатки составляет 15—25%. Станы для прокатки листов переменного сечения имеют продолжительность включения 60—100%.

Столь высокая продолжительность включения объясняется тем, что перемещение нажимных винтов происходит как в процессе прокатки, так и во время паузы (возврата валка в исходное положение). В связи с этим требуется сравнительно высокая мощность по нагреву.

В табл. 14 приведены некоторые технические данные нажимных механизмов листовых станов.

Таблица 14

Характеристика нажимных механизмов листовых станов

Наименование стана	Основная скорость перемещения валка мм/сек	Мощность двигателя квт	Продолжительность включения ПВ %	Число двигателей
Стан кварто горячей прокатки листов постоянного сечения	0,12	33	25	2
Стан кварто холодной прокатки листов постоянного сечения:				
непрерывный	0,11	75	100	2
реверсивный	0,11	75	100	2
Пример стана кварто для холодной прокатки листов переменного сечения	1	280	100	2

Двигатели нажимных механизмов станов холодной прокатки листов постоянного сечения в настоящее время выбирают повышенной мощности для возможности автоматического регулирования толщины полосы.

Продолжительность прокатки:

$$t_{\text{пр}} = \frac{l_k}{v_{\text{пр}}} \text{ сек.} \quad (63)$$

Продолжительность торможения двигателя от установившейся скорости до нуля:

$$t_{\text{ту}} = \frac{GD^2 n_y}{375 (M_{\tau} + M_{x-x})} \text{ сек.,} \quad (64)$$

где M_{τ} — средний тормозной момент.

Путь, проходимый верхним валком за время торможения от установившейся скорости:

$$S_{\text{ту}} = \frac{v_{\text{в}}}{2} t_{\text{ту}} \text{ мм.} \quad (65)$$

Путь, проходимый верхним валком за время разгона, прокатки и торможения:

$$S = S_{\text{пу}} + (H_0 - h_1) + S_{\text{ту}} \text{ мм.} \quad (66)$$

Продолжительность разгона от нуля до основной скорости:

$$t_{\text{ро}} = \frac{GD^2 n_0}{375 (M_{\text{и}} - M_{x-x})} \text{ сек.,} \quad (67)$$

где n_0 — основная скорость вращения двигателя.

Основная скорость перемещения вала:

$$v_{\text{во}} = n_0 \frac{t_{\text{в}}}{60 \cdot i_{\text{общ}}} \text{ мм/сек.} \quad (68)$$

Путь, проходимый за время разгона до основной скорости:

$$S_{\text{ро}} = \frac{v_{\text{во}}}{2} t_{\text{ро}} \text{ мм.} \quad (69)$$

Продолжительность торможения от основной скорости до 0:

$$t_{\text{то}} = \frac{GD^2 n_0}{375 (M_{\tau} + M_{x-x})} \text{ сек.} \quad (70)$$

Путь, проходимый верхним валком за время торможения от основной скорости:

$$S_{\text{то}} = \frac{v_{\text{во}}}{2} t_{\text{то}} \text{ мм.} \quad (71)$$

Возврат вала в исходное положение, как указывалось выше, может осуществляться либо на основной, либо на максимальной скорости (т. е. при ослабленном поле двигателей).

Путь, проходимый валком на основной скорости:

$$S_0 = S - S_{\text{ро}} - S_{\text{то}} \text{ мм,} \quad (72)$$

где

$$S = S_{\text{пу}} + (H_0 - h_1) + S_{\text{ту}} \text{ мм.}$$

Продолжительность перемещения вала на основной скорости:

$$t_{x-x} = \frac{S_0}{v_{\text{во}}} \text{ сек.} \quad (73)$$

Суммарная продолжительность работы двигателя:

$$t_{\Sigma} = t_{\text{пу}} + t_{\text{пр}} + t_{\text{ту}} + t_{\text{ро}} + t_{x-x} + t_{\text{то}} \text{ сек.} \quad (74)$$

Переход двигателя на максимальную скорость вращения осуществляется обычно ослаблением потока возбуждения в одну ступень. В связи с инерционностью магнитной системы изменение тока возбуждения двигателя происходит сравнительно медленно.

Максимальная скорость перемещения вала

$$v_{\text{м}} = n_{\text{м}} \frac{t_{\text{в}}}{60 \cdot i_{\text{общ}}} \text{ мм/сек.} \quad (75)$$

Путь, проходимый за время ускорения с основной скорости до максимальной:

$$S_{\text{рм}} = \frac{v_{\text{м}} - v_0}{2} t_{\text{рм}} \text{ мм.} \quad (76)$$

Путь, проходимый валком при торможении от максимальной скорости до основной:

$$S_{\text{тм}} = \frac{v_{\text{м}} - v_0}{2} t_{\text{тм}} \text{ мм.} \quad (77)$$

Путь, проходимый валком на максимальной скорости:

$$S_{\text{м}} = S - S_{\text{ро}} - S_{\text{рм}} - S_{\text{тм}} - S_{\text{то}} \text{ мм.}$$

Продолжительность перемещения на максимальной скорости:

$$t_{x-x} = \frac{S_{\text{м}}}{v_{\text{м}}} \text{ сек.} \quad (78)$$

Суммарная продолжительность работы двигателя:

$$t_{\Sigma} = t_{\text{пу}} + t_{\text{пр}} + t_{\text{ту}} + t_{\text{ро}} + t_{\text{рм}} + t_{x-x} + t_{\text{тм}} + t_{\text{то}}, \text{ сек.} \quad (79)$$

Продолжительность включения при времени цикла $t_{\text{ц}}$:

$$\text{ПВ \%} = \frac{t_{\Sigma}}{t_{\text{ц}}} \cdot 100 \%. \quad (80)$$

Эквивалентный, или среднеквадратичный момент:

$$M_{\text{ср. кв}} = \sqrt{\frac{\sum M^2 t}{t_{\text{ц}}}} \text{ кгм.} \quad (81)$$

При расчете времени переходных процессов и эквивалентного момента обычно принимают:

1) пусковой и тормозной моменты постоянными и равными $(1,5 \div 2) M_{\text{н}}$ (где $M_{\text{н}}$ — номинальный момент двигателя);

2) статический момент нагрузки изменяющимся по линейному закону. Эквивалентная величина его за время прокатки определяется по выражению

$$M_{\text{эк}} = \sqrt{\frac{1}{3} (M_{\text{макс}}^2 + M_{\text{макс}} M_{\text{х.х}} + M_{\text{х.х}}^2)}, \quad (82)$$

где $M_{\text{макс}}$ — максимальный статический момент в данном проходе;

$M_{\text{х.х}}$ — минимальный статический момент.

В случае ослабления поля двигателя (для получения скорости выше основной) при расчете эквивалентного момента необходимо вводить поправку. Это объясняется тем, что при уменьшении потока возбуждения двигателя при одном и том же моменте статической нагрузки в двигателе будет протекать больший ток.

На максимальной скорости происходит лишь возврат валка в исходное положение, т. е. без металла в валках. Условный момент нагрузки рассчитывается при этом по формуле:

$$M'_{\text{х.х}} = M_{\text{х.х}} \frac{n_{\text{м}}}{n_{\text{н}}}, \quad (83)$$

где $M_{\text{х.х}}$ — действительный момент холостого хода;

$n_{\text{н}}$ — основная скорость;

$n_{\text{м}}$ — максимальная скорость.

При расчете величины момента статической нагрузки следует учитывать направление перемещения винтов.

Выбор мощности двигателей нажимного механизма производится в соответствии с методикой, изложенной ранее.

Примерный расчет двигателей нажимного механизма

Шаг винта, мм	10
Угол подъема нарезки	25'
Угол трения	5°43'
Средний диаметр нарезки винта, мм	555
Диаметр подпятника винта, мм	470
Коэффициент трения в подпятнике	0,1
Максимальное давление, т	2200
Неуравновешенный вес движущихся частей стана, т	100
Общее передаточное число	123,44
Общий к. п. д.	0,67

Приведенные маховые моменты

Тормозы, кгм ²	2×8,7
Электромагнитная муфта, кгм ²	80
Зубчатая муфта, кгм ²	2×2,6
Редуктор и валы, кгм ²	2,4

Технологические данные

Максимальная клиновидность листов, мм/м	1,5
Скорость прокатки, м/сек	0,5
Прокатка производится на «отжим».	

Выбор двигателей

Наибольший статический момент на валу двигателей при работе на «отжим»:

$$M_{\text{макс}} = \frac{P + Q}{\eta i_{\text{общ.}}} \left[\frac{d_s}{3} \mu + \frac{d_{\text{ср}}}{2} \operatorname{tg} (\varphi - \alpha) \right] =$$

$$= \frac{(2200 + 100) \cdot 1000}{0,67 \cdot 123,44} \left[\frac{0,470}{3} \cdot 0,1 + \frac{0,555}{2} \operatorname{tg} (5^\circ 43' - 25') \right] = 1140 \text{ кгм.}$$

Момент на валу одного двигателя:

$$M_{\text{д}} = \frac{1}{2} M_{\text{макс}} = \frac{1140}{2} = 570 \text{ кгм.}$$

Скорость перемещения винтов при максимальной клиновидности (без учета упругой деформации станины):

$$v_{\text{в}} = \kappa v_{\text{пр}} = 1,5 \cdot 0,5 = 0,75 \text{ мм/сек.}$$

Для компенсации упругой деформации станины необходимо иметь запас по скорости примерно 25—30%. С учетом этого основная скорость перемещения винтов должна быть:

$$v_{\text{во}} = 1,3 \cdot 0,75 = 1 \text{ мм/сек.}$$

Потребная скорость двигателей:

$$n = \frac{v_{\text{во}}}{t_{\text{в}}} 60 \cdot i_{\text{общ.}} = \frac{1}{10} \cdot 60 \cdot 123,44 = 740 \text{ об/мин.}$$

Выбираем два двигателя типа МП14-13/8, 280 квт, 350 в, 750 об/мин, 364 кгм.

Загрузка по моменту:

$$\frac{M_{\text{д}}}{M_{\text{н}}} \cdot 100 = \frac{570}{364} \cdot 100 = 156\%.$$

Пример проверки двигателей по нагреву

Двигатели нажимного механизма по нагреву проверяют исходя из примерного расчета прокатки листов. Технические данные, необходимые для расчета, приведены в табл. 15.

При расчете пусковой и тормозной моменты были приняты равными $1,5 M_{\text{н}}$. Возврат валка в исходное положение осуществляется на основной (номинальной) скорости двигателя. Проверка на нагрев двигателя производилась без учета деформации клетки.

Результаты расчета приведены в табл. 16.

Особенности работы привода нажимного механизма

Согласование скоростей

Особенность станов для прокатки листов переменного сечения заключается в необходимости согласования скорости перемещения верхнего валка со скоростью прокатки.

Точность поддержания заданного соотношения скоростей должна быть порядка 1—2%.

Таблица 15

Исходные данные для примерного расчета двигателей по нагреву

	Номер прохода		
	1	2	3
Толщина листа, мм:			
до прокатки	6	4,5	3,5
после прокатки	4,5	3,5	3
Обжатие:			
абсолютное, мм	1,5	1	0,5
относительное, %	25	22,2	14,3
Длина прокатанной клиновидной части листа, м	3	5	6
Клиновидность, мм/м	0,5	0,5	0,5
Установившаяся скорость прокатки, мм/сек	0,5	0,5	0,5
Время прокатки, сек.	6	10	12
Максимальное давление, т	1890	1720	1185

Изменение соотношения скоростей, определяющееся максимальной и минимальной клиновидностью, для современных станов составляют примерно 1:10. В ряде случаев для сокращения цикла работы желательно, чтобы возврат вала в исходное положение совершался на повышенной скорости, получаемой ослаблением поля двигателя. Общий диапазон изменения скорости двигателя составит в этом случае 1:20.

Для осуществления согласования скоростей с широким изменением их соотношения наиболее целесообразным является электропривод постоянного тока, работающий по системе Г—Д.

Существует три принципиальные схемы согласования скоростей с использованием системы Г—Д: схема с общим генератором, со следящим и с независимым генератором.

1. *Схема с общим генератором*¹. Двигатель нажимного механизма и прокатный двигатель питаются от общего генератора (рис. 72).

Соотношение скоростей меняется регулированием тока возбуждения двигателей. Схема отличается простотой и небольшим количеством машин.

Недостаток схемы заключается в малой гибкости и ограниченных пределах изменения соотношения скоростей, так как серийные двигатели металлургического типа допускают повышение скорости ослаблением поля всего в два раза.

¹ Схема была опробована на лабораторном стане дуо 250 ЦКБММ.

Пример проверки мощности двигателей нажимного механизма

	Номер прохода		
	1	2	3
Установившаяся скорость:			
перемещение вала $v_{ву}$, мм/сек	0,25	0,25	0,25
вращения двигателя нажимного механизма n , об/мин.	185	185	185
Максимальный статический момент на валу двигателя в данном пропуске $M_{дв}$, кгм	496	586	440
Момент холостого хода при:			
подъеме вала $M_{ххп}$, кгм	25	25	25
опускании вала $M_{ххо}$, кгм	27	27	27
Эквивалентный момент за время прокатки $M_{эп}$, кгм	293	346	262
Продолжительность разгона до установившейся скорости при подъеме $t_{ру}$, сек.	0,4	0,4	0,4
Путь вала за время разгона до установившейся скорости $S_{ру}$, мм	0,05	0,05	0,05
Продолжительность работы на установившейся скорости (время прокатки) $t_{пр}$, сек.	6	10	12
Продолжительность торможения от установившейся скорости до нуля $t_{ту}$, сек.	0,335	0,335	0,335
Путь торможения от установившейся скорости до нуля $S_{ту}$, мм	0,042	0,042	0,042
Путь, проходимый валом за время разгона, прокатки и торможения S , мм	1,592	2,592	3,092
Продолжительность разгона до основной скорости $t_{ро}$, сек.	1,64	1,64	1,64
Путь вала за время разгона до основной скорости $S_{ро}$, мм	0,82	0,82	0,82
Продолжительность торможения от основной скорости до нуля $t_{то}$, сек.	1,35	1,35	1,35
Путь торможения от основной скорости до нуля $S_{то}$, мм	0,69	0,69	0,69
Путь, проходимый валом на основной скорости S_o , мм	0,082	1,082	1,582
Продолжительность перемещения вала на основной скорости $t_{хх}$, сек.	0,0805	1,06	1,55
Суммарное время работы двигателя $t_{д}$, сек.	9,805	14,785	17,275
Продолжительность включения ПВ, %	54,5	82	96
Среднеквадратичные:			
момент $M_{ср. кв.}$, кгм	301	358	329
мощность $N_{ср. кв.}$, квт	65,3	67,9	62,4
Загрузка по моменту $\frac{M_{дв}}{M_n}$ 100, %	135,5	160	120
Загрузка по среднеквадратичному моменту $\frac{M_{ср. кв.}}{M_n}$ 100, %	89,7	98,5	90,5

Механические характеристики двигателей имеют различный наклон при разной степени ослабления поля, что обуславливает значительные погрешности при изменении тока нагрузки двигателей в процессе прокатки.

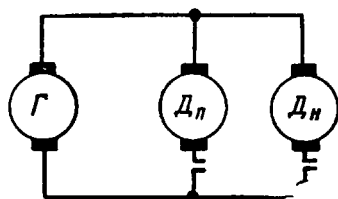


Рис. 72. Схема с общим генератором:
 D_p — прокатный двигатель;
 D_n — двигатель нажимного механизма

Габариты двигателей при регулировании полем получаются большими. Это объясняется тем, что для привода нажимного механизма требуется максимальный момент на всех скоростях и двигатель приходится выбирать с большим запасом по моменту. Увеличение габаритов двигателей нажимного механизма крайне нежелательно, так как они установлены на клетки.

Схему с общим генератором целесообразно применять при небольших пределах изменения клиновидности, а также для прокатных станов малой мощности, для которых неоправдывается применение дополнительного оборудования.

2. *Схема со следящим генератором.* Двигатель нажимного механизма питается от отдельного генератора, сидящего на валу прокатного двигателя. Соотношение скоростей можно менять регулированием напряжения генераторов и полем двигателей (рис. 73).

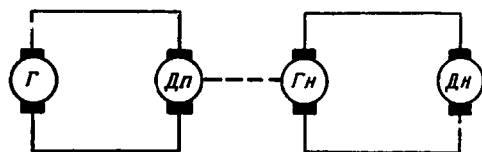


Рис. 73. Схема со следящим генератором:
 D_p — прокатный двигатель; D_n — двигатель нажимного механизма; G_n — генератор нажимного механизма

Схема позволяет получить сравнительно широкий диапазон изменения соотношения скоростей.

Недостаток схемы заключается в введении еще одной электрической машины (генератора G_n), а также в увеличении мощности прокатного двигателя и его генератора на величину, несколько большую мощности двигателя нажимного механизма.

Так как мощность двигателя нажимного механизма станов для прокатки листов переменного сечения соизмерима с мощностью главного привода, увеличение мощности нежелательно, особенно для крупных машин.

При отсутствии регуляторов скорости или напряжения точность поддержания соотношения скоростей сравнительно низка.

Схема может быть рекомендована для прокатных станов небольшой мощности, требующих достаточно широких пределов регулирования клиновидности, для которых не оправдывается применение электромашиных или иных регуляторов.

Схема со следящим генератором выполнена на одном из небольших по мощности станов для прокатки — волочения тавровых профилей переменного сечения.

3. *Схема с независимым генератором.* Двигатель нажимного механизма питается от отдельного генератора. Согласование скорости осуществляется с помощью электромашиного усилителя (ЭМУ), являющегося возбудителем генератора. Обмотка управления ЭМУ включается либо на разность напряжений тахогенераторов $TГ$ главного привода и $TГН$ нажимного механизма (рис. 74, а), либо на разность напряжений генераторов (рис. 74, б).

Первый вариант обеспечивает больший диапазон регулирования скорости, но требует установки тахогенераторов.

Применение схемы с независимым генератором, обладающей большой гибкостью, позволяет поддерживать высокую точность соотношения скоростей, использовать машины меньших габаритов, чем в схеме с общим и следящим генераторами.

Недостаток схемы заключается в необходимости применения дорогостоящих ЭМУ. Однако наличие ЭМУ обеспечивает оптимальную форму статических характеристик, что определяет хорошее качество продукции.

Рассматриваемая схема является наиболее целесообразной для промышленных станов средней и большой мощности.

Вместо электромашиных усилителей можно применять также магнитные усилители.

Пуск и остановка двигателей нажимного механизма

Пуск. Качество листов переменного сечения зависит во многом от правильного определения момента пуска двигателей нажимного механизма. Двигатели необходимо пускать в такой момент, чтобы к началу прокатки они успели разогнаться до установившейся скорости и верхний валок занимал при этом строго определенное положение.

На рис. 75 изображена схема прокатки листа на «поджим» в три прохода.

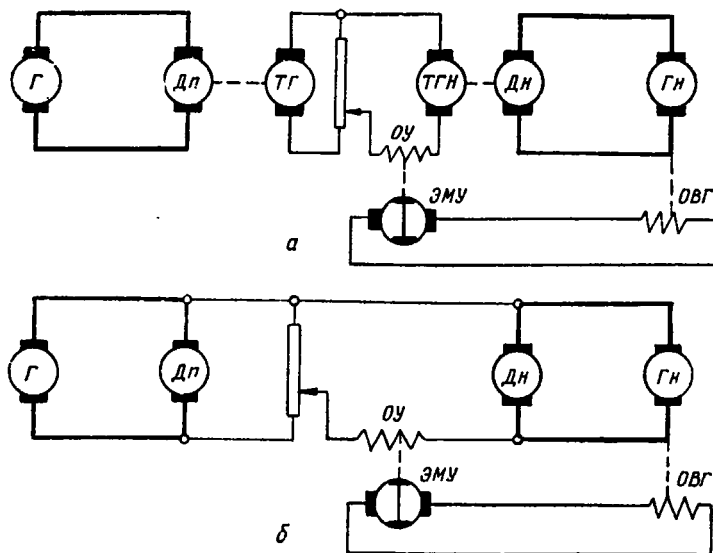


Рис. 74. Схема с независимым генератором:
а — согласование скоростей; б — согласование напряжений; Г — генератор прокатного двигателя; Дп — прокатный двигатель; ДН — двигатель нажимного механизма; ГН — генератор двигателя нажимного механизма; ЭМУ — электромагнитный усилитель; ОВГ — обмотка возбуждения генератора; ОУ — обмотка управления ЭМУ; ТГ и ТГН — тахогенераторы

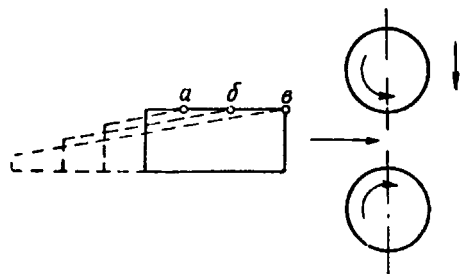


Рис. 75. Прокатка листа на «поджим» в три прохода

В первом проходе прокатка должна начаться в точке а, во втором — в точке б, в третьем — в точке в. Верхний валок занимает одно и то же исходное положение.

Вследствие того, что прокатка происходит при постоянной скорости во всех проходах, двигатели нажимного механизма должны пускаться в разные моменты времени. Это осуществляется с помощью фотореле (или флажкового выключателя) и реле времени. При прохождении листа мимо фотореле оно подает импульс на реле времени, которое управляет пуском двигателей нажимного механизма. Выдержка времени устанавливается такой, чтобы к началу прокатки листа (в точке а, б или в) двигатели заканчивали разгон.

Рис. 76. Прокатка листа на «отжим» в два прохода

На рис. 76 изображена схема прокатки на «отжим» в два прохода.

В первом проходе прокатка должна начаться в точке а, во втором — в точке б, т. е. верхний валок будет иметь различное исходное положение в разных проходах (в первом проходе раствор валков будет больше). Исходное положение устанавливается с таким расчетом, чтобы валок за время разгона до установившейся скорости прошел расстояние от исходного положения до места начала прокатки.

Работа осуществляется также с помощью фотореле (или флажкового выключателя) и реле времени.

При переходе от прохода к проходу клиновидность обычно не меняется, поэтому установившаяся скорость перемещения валка будет постоянной, и выдержка времени реле не должна изменяться. При изменении клиновидности меняется установившаяся скорость перемещения валка, а следовательно, и время разгона до установившейся скорости. В этом случае необходимо изменить выдержку времени реле.

Остановка. После окончания прокатки листа необходимо остановить валок. Особенно важно вовремя остановить валок при работе на «поджим», когда валок опускается, так как в противном случае можно посадить «валок на валок».

В момент окончания прокатки в каждом проходе лист выходит из валков. Поэтому остановка перемещения валка осуществляется просто с помощью фотореле (или флажкового выключателя) и обычного электромагнитного реле времени (изменение выдержки времени в процессе работы не требуется).

При работе на «отжим» также желательно валок остановить после окончания прокатки, так как запаздывание в остановке приводит к увеличению времени возвращения вала в исходное положение.

При работе на «отжим» в момент окончания прокатки лист во всех проходах, кроме последнего, не выходит из валков. Поэтому для остановки вала необходимо реле с дистанционным регулированием выдержки времени.

Однако для упрощения схемы остановки часто производят в момент выхода металла из валков, что приводит, как указывалось выше, к увеличению времени возврата вала в исходное положение. В этом случае можно также использовать реле времени.

Возврат вала в исходное положение.

Возврат вала в исходное перед прокаткой положение осуществляется системой, позволяющей дистанционно изменять это исходное положение. Существуют две основные системы: с путевыми выключателями (командо-аппаратами) и сельсинно-следящая.

В первой системе изменение исходного положения осуществляется поворотом вала командо-аппарата по отношению к валу нажимного механизма с помощью червячной муфты. В связи с частыми перестройками стана, командо-аппарат и муфту располагают в месте, удобном для обслуживания. Наиболее рационально устанавливать их на посту управления, однако в этом случае необходим «электрический вал» (рис. 77) для связи командо-аппарата с нажимным механизмом (т. е. командо-аппарат приводится силовым сельсином, соединенным со вторым сельсином, находящимся на валу нажимного механизма).

Иногда командо-аппарат и муфту располагают на клети в доступном месте и связывают с нажимным механизмом системой передач (обычно цепных).

Рассмотрим сельсинно-следящую систему более подробно, так как она получила в настоящее время широкое распространение для автоматизации нажимных механизмов различных станов.

Существуют две разновидности сельсинно-следящей системы: система сельсин — сельсин и система трансформатор — сельсин.

Система сельсин — сельсин имеет следующие основные органы (рис. 78):

1) задающий орган — сельсин-датчик (работает в трансформаторном режиме); 2) измерительный орган — фазочувствительный мост (фазовый дискриминатор); 3) усилительные органы — ЭМУ, генератор; 4) исполнительный орган — двигатель.

Когда роторы сельсина-датчика и сельсина-приемника занимают согласованное положение, напряжение $U_{\text{вых}}$ на одно-

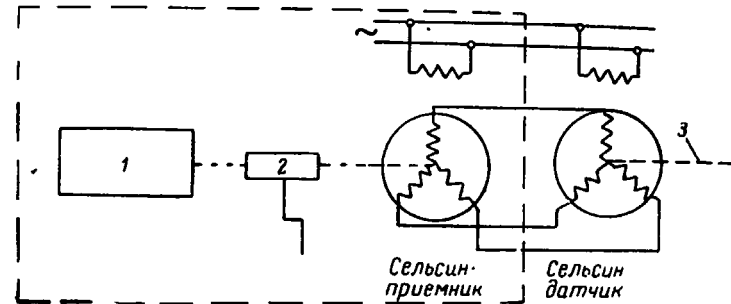


Рис. 77. «Электрический вал» для привода командо-аппарата: 1 — командо-аппарат; 2 — червячная муфта; 3 — вал нажимного механизма

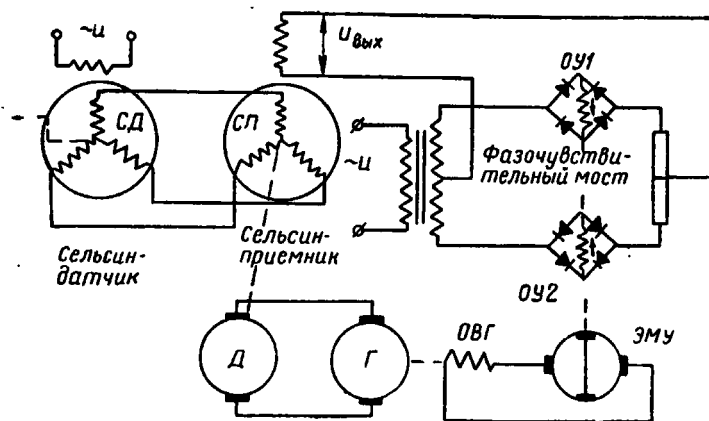


Рис. 78. Принципиальная схема следящей системы сельсин — сельсин:

Д — двигатель; Г — генератор; ЭМУ — электромашиный усилитель; ОВГ — обмотка возбуждения генератора; ОУ1 и ОУ2 — обмотки управления ЭМУ

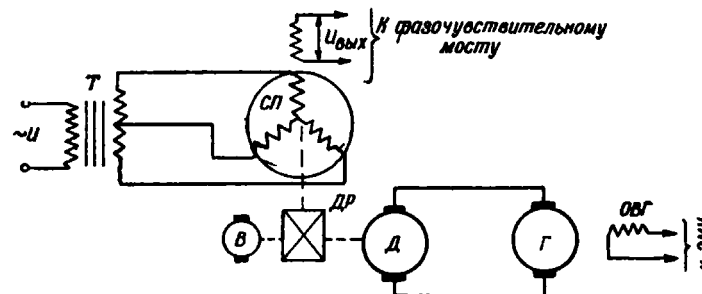


Рис. 79. Принципиальная схема следящей системы трансформатор — сельсин:

Г — генератор; ОВГ — обмотка возбуждения генератора; ДР — дифференциальный редуктор; В — вспомогательный двигатель; СП — сельсин-приемник; Т — задающий трансформатор

фазной обмотке сельсина-приемника равно нулю. В этом случае через обмотки ЭМУ, включенные в плечи фазочувствительного моста, протекают равные токи. Обмотки включены встречно, поэтому результирующие ампервитки ЭМУ равны нулю.

При повороте ротора сельсина-датчика на некоторый угол появляется напряжение $U_{\text{вых}}$, которое прикладывается к диагонали фазочувствительного моста. В результате этого в одной из обмоток ЭМУ ток увеличивается, а в другой уменьшается. Появляются результирующие ампервитки, возбуждается ЭМУ и генератор, двигатель нажимного механизма начинает вращаться (направление вращения зависит от направления поворота сельсина-датчика). При этом поворачивается ротор сельсина-приемника, связанный механически с валом нажимного механизма. Когда ротор сельсина-приемника займет положение, согласованное с ротором сельсина-датчика, двигатель нажимного механизма остановится (в этом случае $U_{\text{вых}} = 0$, следовательно, напряжение генератора также равно нулю).

Принцип работы системы трансформатор — сельсин (рис. 79) такой же, как у описанной выше системы сельсин — сельсин. Отличие заключается в том, что вместо сельсина-датчика используется трансформатор и дифференциальный редуктор с вспомогательным двигателем (арретир).

При согласованной системе напряжения $U_{\text{вых}} = 0$. При необходимости переместить нажимной механизм в новое исходное положение включается двигатель дифференциального редуктора (арретира) и ротор сельсина-приемника смещается на заданный угол относительно вала нажимного механизма. При этом на однофазной обмотке сельсина-приемника появляется напряжение $U_{\text{вых}}$, которое подается на диагональ фазочувствительного моста. Возбуждается ЭМУ, генератор и двигатель начинают вращаться, возвращая ротор сельсина-приемника в согласованное положение. Вращение продолжается до тех пор, пока $U_{\text{вых}}$ не сделается равным нулю.

Статические характеристики привода нажимного механизма

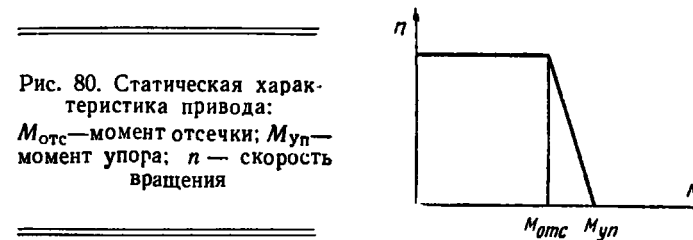
Для получения качественного проката статические характеристики электропривода нажимного механизма должны отвечать двум требованиям:

1) обеспечивать возможно большую жесткость характеристик до некоторого предельного момента нагрузки (момент отсечки) и 2) иметь крутой спад скорости после отсечки для ограничения момента упора.

Такие характеристики (рис. 80) обеспечивают схемы с отсечками по току, напряжению и с совмещенными отсечками.

Схема управления нажимными механизмами стана для прокатки листов переменного сечения

На рис. 81 приведена примерная упрощенная схема управления нажимными механизмами стана для прокатки листов переменного сечения. В ее основу положены принципы, описанные выше: согласование скоростей перемещения винтов и главного привода осуществляется тахогенераторами, воздействующими на электромашинный усилитель; пуск производится фотореле и электронным реле времени; остановка — фотореле и электромагнитным реле времени; возврат валка в исходное положение — следящей системой сельсин — трансформатор.



3. ПРИВОД НАТЯЖНОГО УСТРОЙСТВА

В отличие от станов для холодной прокатки листов постоянного сечения, где натяжение в процессе прокатки должно быть постоянным, в станах для прокатки листов переменного сечения с изменением сечения должно меняться натяжение. Необходимо, чтобы удельное натяжение, т. е. натяжение, отнесенное к площади данного сечения, в процессе прокатки оставалось постоянным. Это требование можно выполнить только при прокатке на «поджим», когда лист задается в валки стана толстым концом. По мере уменьшения сечения прокатываемого листа с помощью специального устройства уменьшается натяжение.

При прокатке на «отжим», когда лист задается в стан тонким концом, по мере увеличения сечения необходимо увеличивать натяжение. Такой процесс нельзя осуществить, так как величина усилия натяжения ограничивается площадью сечения металла в месте его захвата зажимным механизмом у тонкого конца листа.

Выбор и проверка мощности привода натяжного устройства

Выбор и проверка мощности двигателя производится в соответствии с методикой, изложенной выше.

Статический момент рассчитывают обычно для прокатки листов на «поджим» с максимальным натяжением и минимальной

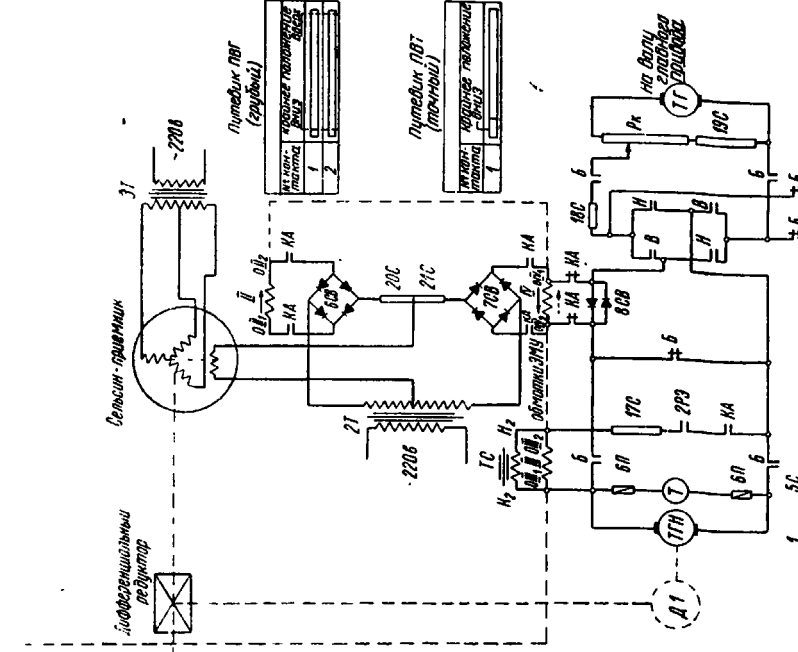
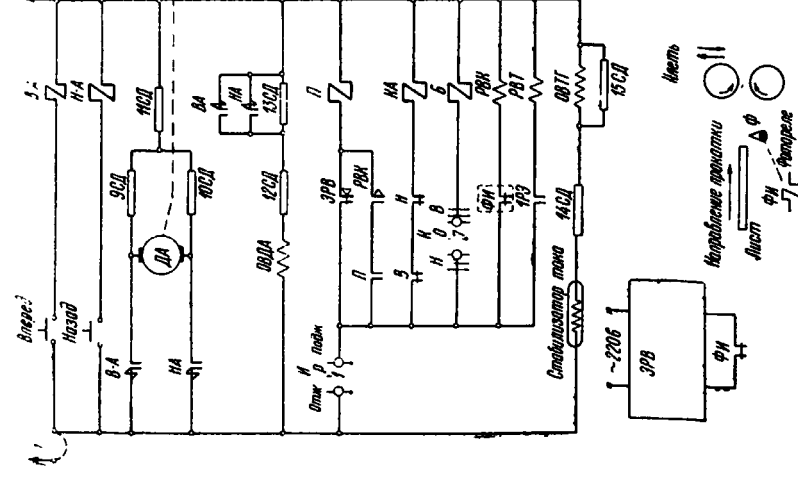
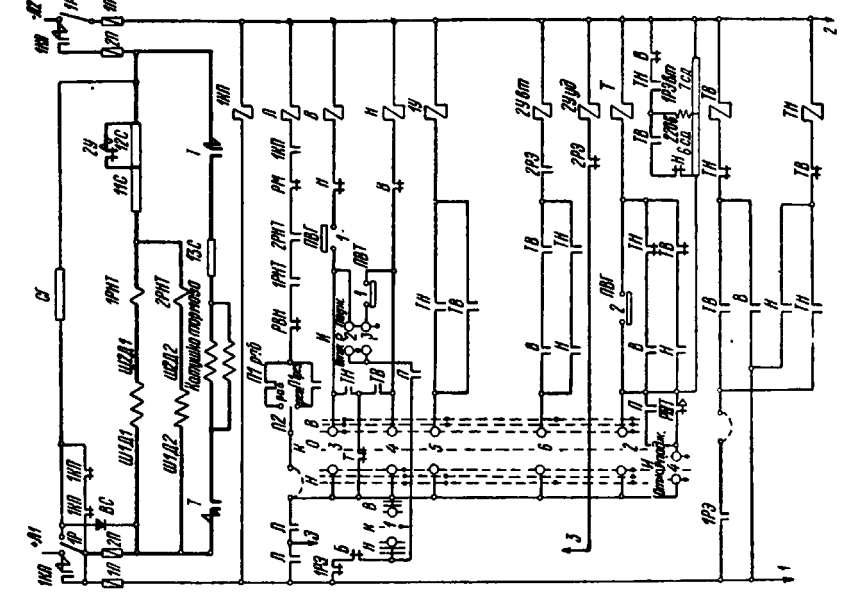
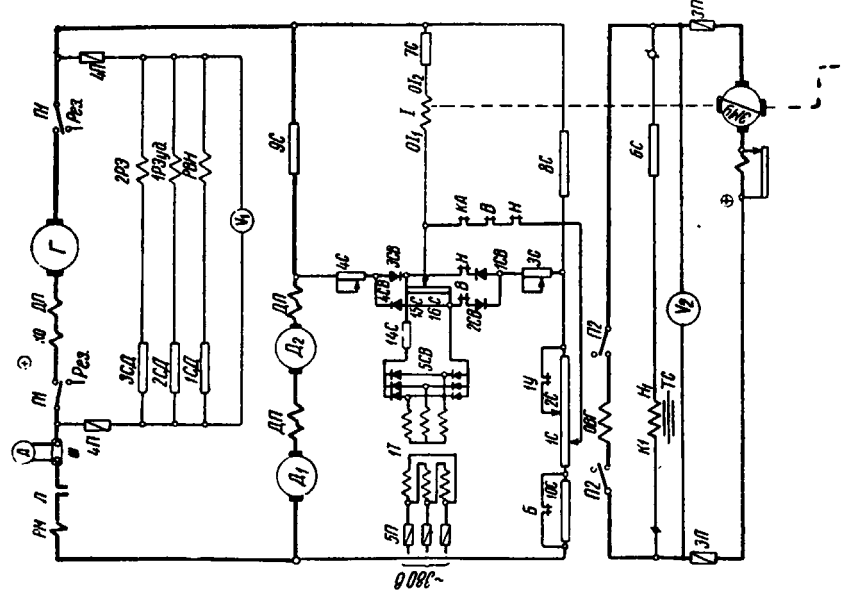


Рис. 81. Упрощенная схема управления нажимным механизмом стана для прокатки листов: Г — генератор; Д₁ и Д₂ — датчики; ЭМУ — электромагнитный усилитель; ТГ и ТН — тахогенераторы; ОВГ — обмотка возбуждения генератора; П1 и П2 — переключатели; ПП — предохранитель; Л — линейный контур; Ю — контакторы скорости; РМ — реле максимальной защиты; ИСД — 8СД, 6СД — добавочные сопротивления; ИС — 22С сопротивления; П, КА, Б, РВК и РВГ — контакторы и реле автоматического управления; ИСВ — 8СВ, ВС — полупроводниковые вентили; ТС — трансформатор стабилизирующий; Ш — шунт; ЭРВ — электронное реле времени

клиновидностью (наиболее тяжелый случай прокатки). Считают величину натяжения в процессе прокатки неизменной, что дает некоторый запас при расчете требуемой мощности.

Статический момент на валу двигателя определяется по формуле:

$$M_{ст} = \frac{(T_1 + T_2 + T_3) \frac{D_{н.о.}}{2}}{\eta_p \eta_{ц} i_p}, \quad (85)$$

где T_1 — усилие натяжения;
 T_2 — тяговое усилие, необходимое для перемещения тележки и каретки;
 T_3 — усилие для преодоления сопротивления движению цепей по направляющим;
 $D_{н.о.}$ — диаметр начальной окружности приводной звездочки;
 η_p — к. п. д. редуктора;
 $\eta_{ц}$ — к. п. д. цепной передачи;
 i_p — передаточное число редуктора.

Проверка двигателя на нагрев производится по методу среднеквадратичного тока или момента. Предварительно необходимо построить соответственно график тока или момента двигателя.

Для привода натяжного устройства обычно применяют двигатель постоянного тока с независимым возбуждением, питающийся от отдельного генератора.

Это объясняется необходимостью: а) регулирования скорости, б) регулирования натяжения в широком диапазоне (до 30:1).

В качестве возбуждателя генератора используют электромашинный усилитель.

Особенности работы электропривода натяжного устройства.

Статическая характеристика привода должна обеспечивать возможность получения различной величины натяжения при постоянной скорости прокатки. При исчезновении натяжения (например, при выходе листа из валков или его обрыве) скорость тележки не должна превзойти некоторой допустимой максимальной величины.

Требуемую статическую характеристику можно получить в схеме электромашинного управления с отсечкой по напряжению и с жесткой обратной связью по току двигателя.

На рис. 82 приведено семейство статических характеристик. При одной и той же скорости прокатки ($n_{пр}$) можно получить различные величины момента натяжения, или, что то же, разные значения тока якоря (I_1, I_2, I_3).

При выходе листа из валков скорость перемещения тележки возрастет до $n_{х.х.}$. Эта скорость обеспечивается благодаря вступ-

лению в действие отсечки по напряжению. Если бы отсечки не было и характеристики холостого хода генератора и ЭМУ были бы прямолинейны, то при исчезновении натяжения скорость увеличилась бы до n_0 .

На рис. 83 изображена принципиальная электрическая схема привода натяжного устройства. Двигатель натяжного устройства D питается от генератора G , возбуждателем которого является электромашинный усилитель ЭМУ, имеющий несколько обмоток управления: OZ — задающая обмотка, OT — токовая обмотка, OCH — обмотка обратной связи по напряжению с отсечкой.

В задающей обмотке протекает ток, создающий ампервитки $a\omega_z$. Ток токовой обмотки пропорционален нагрузке двигателя. Ампервитки токовой обмотки $a\omega_t$ направлены навстречу задающим ампервиткам.

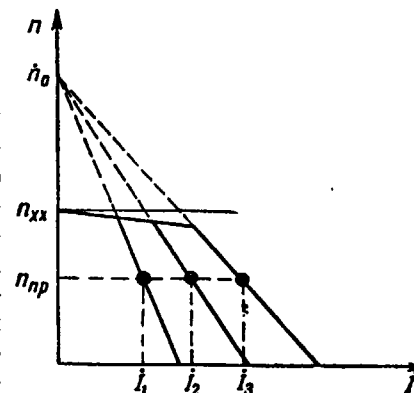


Рис. 82. Семейство статических характеристик с разными токами упора

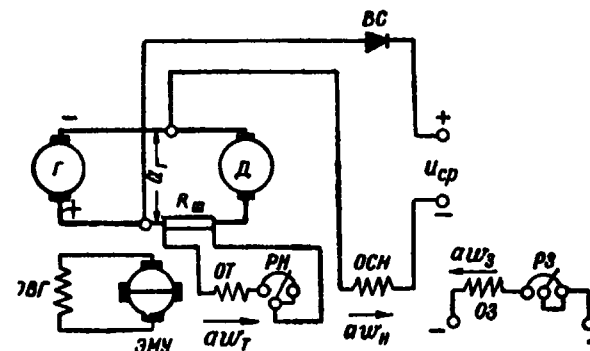


Рис. 83 Принципиальная схема электропривода натяжного устройства

В обмотке обратной связи по напряжению ток может протекать, если напряжение генератора U_g выше напряжения сравнения $U_{ср}$ (благодаря вентилю BC).

Ампервитки этой обмотки также направлены встречно задающим ампервиткам.

Результирующие ампервитки $a\omega_p$, определяющие э. д. с. генератора, равны

$$a\omega_p = a\omega_3 - a\omega_r - a\omega_n. \quad (86)$$

По мере увеличения тока растут ампервитки токовой обмотки и это приводит к уменьшению результирующих ампервитков и напряжения генератора.

При уменьшении напряжения генератора снижаются ампервитки $a\omega_n$ обмотки напряжения, что компенсирует в значительной степени увеличение ампервитков токовой обмотки.

В связи с этим существенное увеличение тока нагрузки дает небольшое уменьшение результирующих ампервитков и напряжения генератора. Когда ток достигает значения тока отсечки $I_{отс}$, напряжение генератора U_r становится равным напряжению сравнения $U_{ср}$.

При дальнейшем росте тока нагрузки в обмотке ОСН не будет протекать ток и баланс ампервитков может быть записан

$$a\omega_p = a\omega_3 - a\omega_r. \quad (87)$$

Небольшое дальнейшее увеличение тока нагрузки приводит к значительному снижению напряжения (рис. 84).

Рабочей зоной характеристики для привода натяжного устройства является участок 2.

Скорость перемещения натяжного устройства при постоянной скорости прокатки также постоянна, поэтому результирующие ампервитки

$$a\omega_p = a\omega_3 - a\omega_r \approx \text{const.}$$

Можно считать, что $a\omega_r = i_r \omega_r$ и $i_r = \frac{IR_{ш}}{R_r}$,

где i_r — ток в токовой обмотке;

ω_r — число витков токовой обмотки;

I — ток в цепи якоря двигателя;

$R_{ш}$ — сопротивление в цепи якоря двигателя;

R_r — сопротивление цепи токовой обмотки.

Отсюда $a\omega_3 - \frac{IR_{ш}}{R_r} \omega_r \approx \text{const.}$

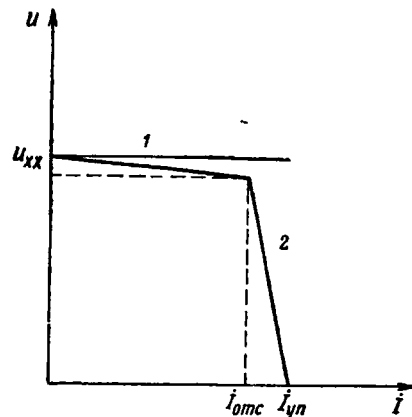


Рис. 84. Статическая характеристика привода:

U — напряжение; I — ток; $I_{отс}$ — ток отсечки; $I_{уп}$ — ток упора

Для увеличения натяжения требуется увеличить ток двигателя I . В этом случае необходимо, чтобы соответственно увеличилось либо сопротивление R_r (т. е. $\frac{I}{R_r} \approx \text{const}$), либо задающие ампервитки $a\omega_3$.

Сопротивление цепи токовой обмотки R_r изменяется реостатом RH , а задающие ампервитки — реостатом $PЗ$ (рис. 83).

Автоматическое регулирование натяжения

При прокатке на «поджим» по мере уменьшения сечения листа необходимо уменьшать натяжение. Осуществляется это выведением сопротивления реостата RH с помощью сельсинно-следящей системы.

Поворот реостата сельсином может выполняться либо в функции раствора валков, либо в функции длины листа. Для этой цели устанавливают два сельсина-датчика: один связан с натяжным механизмом ($СДР$), второй ($СДП$) — с натяжным устройством.

С помощью переключателя U можно подключать сельсин-приемник $СП$ к любому сельсину-датчику $СДР$ или $СДП$ (рис. 85).

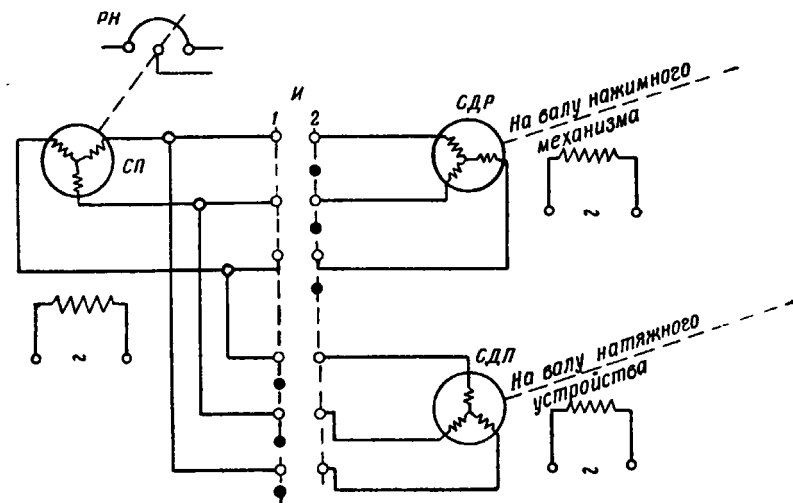


Рис. 85. Сельсинно-следящая система для автоматического поворота реостата натяжения RH

При дрессировке и нагартовке листов переменного сечения (когда перемещение вала происходит не электроприводом, а гидроприводом) сельсин $СДР$ натяжного механизма не поворачи-

чивается. В этом случае возможна работа только в функции длины листа.

Регулирование в функции толщины листа. При полностью введенном сопротивлении реостата R_H должно быть максимальное натяжение, соответствующее наибольшей возможной величине толстого конца; при полностью выведенном сопротивлении реостата R_H должно быть минимальное натяжение, соответствующее возможной наименьшей величине тонкого конца.

Если, например, максимальная толщина толстого конца — 8 мм, минимальная толщина тонкого конца — 1 мм, то реостат должен обеспечивать возможность регулирования натяжения в отношении 8:1. Градуировать шкалу реостата удобнее в миллиметрах (соответствующих толщине листа, рис. 86).

Реостат R_H через червячную муфту соединен с сельсином для автоматического регулирования натяжения.

Начальное положение реостата R_H , т. е. начальное натяжение, можно менять с помощью червячной муфты, которая позволяет плавно смещать вал реостата по отношению к валу сельсина-приемника.

Например, если толстый конец листа имеет 4 мм, то вращением рукоятки червячной муфты переводят ползунок реостата в положение, соответствующее 4 мм по шкале (показано пунктиром на рис. 86).

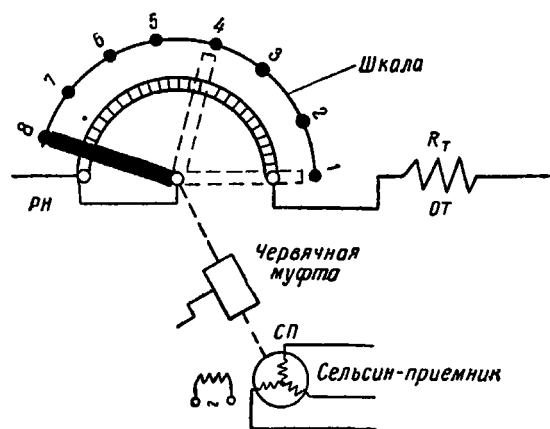


Рис. 86. Реостат натяжения R_H с червячной муфтой и сельсином для автоматического регулирования натяжения

Автоматическое регулирование натяжения в зависимости от толщины полосы в зоне прокатки осуществляется поворотом вала реостата сельсинно-следящей системой.

Натяжение зависит не только от толщины листа, но и от его ширины. Такое регулирование может быть осуществлено изменением задающих ампервитков с помощью реостата R_3 (рис. 83). Так как в процессе прокатки ширина листа постоянная, то реостат R_3 является уставочным.

При прокатке на «отжим», когда натяжение не меняется, обмотки сельсинов не подключают и не происходит поворота реостата.

Регулирование натяжения в функции длины листа. Косвенное регулирование натяжения в функции длины листа применяется в том случае, когда нельзя использовать регулирование в функции толщины (например, если не работает электропривод нажимного механизма, а перемещение вала производится гидроприводом).

При одной и той же длине листа и величине его толстого конца, толщина тонкого конца различна при разных клиновидностях. Поэтому одному и тому же повороту сельсинов должны соответствовать различные повороты реостата R_H (рис. 87).

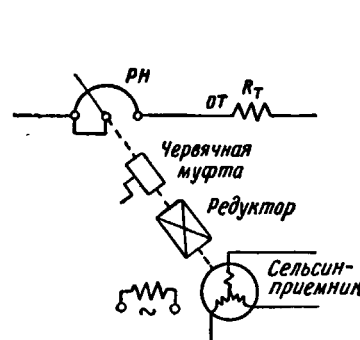


Рис. 87. Схема автоматического регулирования натяжения в функции длины листа с редуктором, имеющим переменное передаточное число

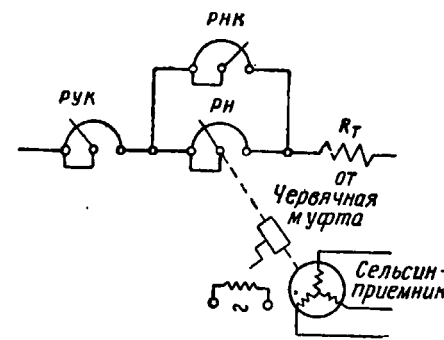


Рис. 88. Схема автоматического регулирования натяжения в функции длины листа с корректирующим реостатом

Проще всего это осуществить установкой замедляющего редуктора с переменным передаточным числом между сельсин-приемником и реостатом регулирования натяжения R_H . Некоторый недостаток этого способа заключается в необходимости изготовления кинематического редуктора с переменным передаточным числом.

В тех случаях, когда такой редуктор трудно изготовить, можно обойтись без него, но это связано с установкой добавочных реостатов. Один из возможных вариантов изображен на рис. 88.

Реостат *РУК* служит для установки натяжения, соответствующего тонкому концу. Реостат *РНК* является корректирующим и служит совместно с реостатом *РН* для установки натяжения, соответствующего толстому концу. Для получения примерно линейного закона изменения натяжения сопротивление реостата *РН* приходится в этом случае разбивать неравномерно.

Регулирование натяжения в листе может осуществляться гидроприводом. Как указывалось выше, тележка с зажимным механизмом и натяжная каретка связаны через систему поршень — цилиндр, представляющих буферное устройство. Если после захвата листа зажимным механизмом нагнать масло в цилиндр с помощью насоса, то этим можно обеспечить натяжение в листе.

Изменением количества подаваемого масла регулируют натяжение. Последнее осуществляется с помощью подпорного клапана, ползун которого перемещается по копирной линейке, проложенной вдоль пути натяжной каретки.

Меняя расстояние копирной линейки от натяжной каретки и наклон линейки, получают различное начальное натяжение и разную степень изменения натяжения.

4. ХАРАКТЕРИСТИКА И СОРТАМЕНТ СТАНОВ ДЛЯ ПРОКАТКИ ЛИСТОВ ПЕРЕМЕННОГО СЕЧЕНИЯ

Характеристика станов

В табл. 17 приведена техническая характеристика некоторых станов для прокатки листов переменного сечения.

Таблица 17

Техническая характеристика некоторых станов для холодной прокатки листов и полос переменного сечения

Тип стана	Длина бочки валков, мм	Диаметр валков, мм	Скорость прокатки, м/мин	Мощность главного привода, кет	Число оборотов главного привода в минуту	Тип главного привода	Мощность привода нажимного устройства, кет	Число оборотов привода нажимного устройства, мин.	Тип привода нажимного устройства	Наибольшая клиновидность прокатанных листов, мм/мм
Дуо	250	250	30	33	1250	Постоянный ток	3	300	Постоянный ток	2
Дуо	900	500	25	300	590	Переменный ток	2×40,5	615—1200	То же	1
Дуо	1200	600	30	300	730	То же	80	—	Гидромотор	1

Следует отметить, что в последнее время в зарубежной технической печати¹ появились сообщения о вводе в эксплуатацию ряда крупных станов для прокатки листов переменного сечения. Сообщается, что на заводе *Mc Cook* фирмы *Reynolds Metals* (США) установлен стан кварто для горячей прокатки листов переменного сечения из алюминиевых сплавов шириной до 3 м, длиной до 15 м и толщиной до 75 мм (на толстом конце листа), оборудованный специальной ролико-правильной машиной и устройствами для термообработки и отделки клиновидных листов. Продукция стана предназначена для строительства, главным образом военно-морского и торгового флота.

На заводе фирмы *Alcoa* в Давенпорте (шт. Айова, США) установлен прокатный стан с длиной бочки валков 3660 мм для прокатки клиновидных толстых и средних листов из легких сплавов.

Сообщается², что обшивку крыла самолета *Дуглас ДС-8* изготовляют из дюралюминиевых листов переменного сечения, которые производят на крупном прокатном стане фирма «*Alcoa*» (Алюминиевая компания Америки). Листы шириной 3 м имеют длину 14 м, а толщина их по одной кромке равна 2,25 мм, а по другой (противоположной по длине листа) — 5,75 мм.

Значительное усовершенствование существующей технологии прокатки листов переменного сечения из легких сплавов может быть выполнено за счет мероприятий по применению оптимальных режимов гомогенизации слябов и глубокого отжига горячей-катаной полосы перед холодной прокаткой, а также за счет применения новых интенсифицированных режимов горячей прокатки плакированного дюралюмина без обрезки боковых кромок. По данным А. И. Колпашникова, это позволило довести степень деформации при холодной прокатке алюминиевых сплавов до 90% и более, т. е. проводить холодную прокатку без промежуточных отжигов на окончательный размер (например, с 6 на 0,8 мм).

На рис. 89, а, б и в приведены экспериментальные данные по механическим свойствам листов и полос переменного сечения, испытанным вдоль и поперек направления прокатки. Эти данные показывают, что полуфабрикаты обладают свойствами, превышающими требования технических условий при применяемых режимах термической обработки.

¹ Журнал «*Modern Metals*», 1957 г., июль, т. 13, № 7, стр. 48—50 и «*Iron and Steel Engineer*», 1957, № 9, стр. 59.

² Журнал «*Aviation Week*», 1956, т. 65, № 22.

Сортамент листов и полос переменного сечения.

Листы и полосы переменного сечения прокатывают следующих видов (рис. 90):

- а) с односторонней клиновидностью;
- б) с односторонней клиновидностью и участком постоянного сечения;
- в) с двусторонней клиновидностью (при наличии участка постоянного сечения).

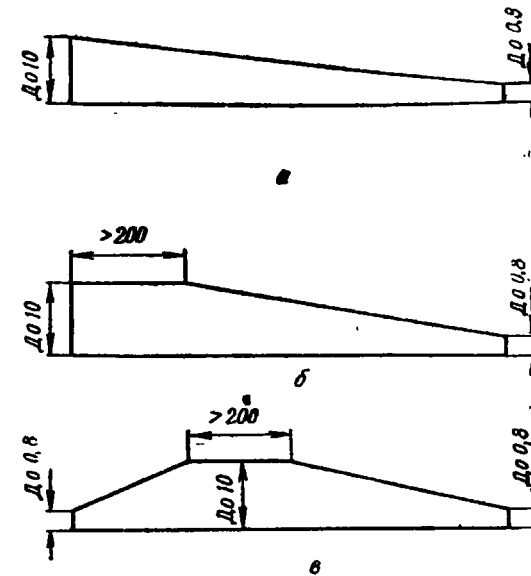


Рис. 90. Сортамент листов переменного сечения

Допуск по толщине листов до $\pm 0,2$ мм, по ширине до ± 1 мм, по длине до ± 5 мм.

Отставание листов от поверхности плоской плиты при их свободной укладке до 20 мм.

Материал листов и полос — деформируемые алюминиевые сплавы в закаленном, состаренном, а также нагартованном состоянии с толщиной лакирующего слоя из чистого алюминия не менее 4% от общей толщины листа. На аналогичных станках могут быть также прокатаны клиновидные листы из стали и других металлов и сплавов.

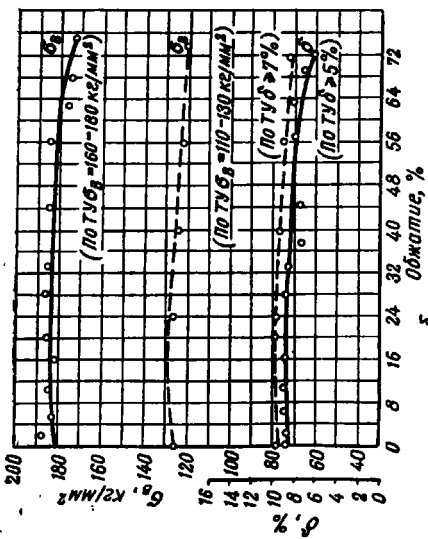
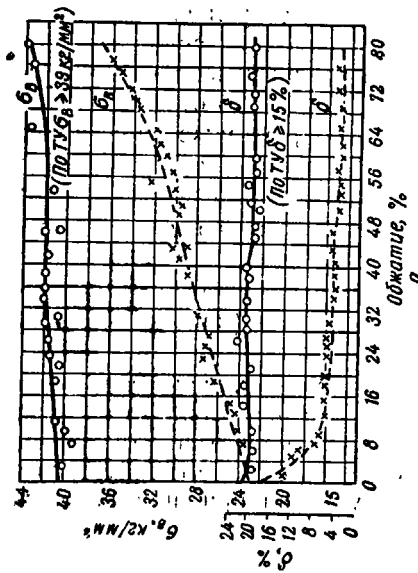
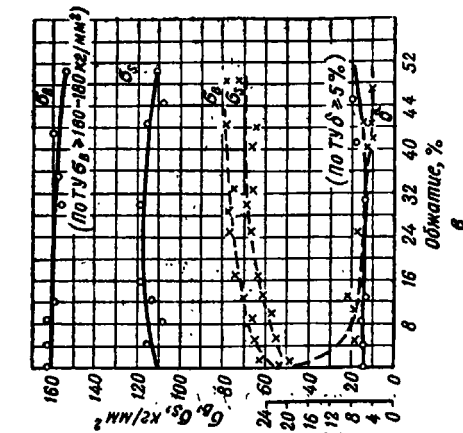


Рис. 89. Механические свойства листов и полос переменного сечения:
а — из сплава Д16, поперек прокатки; сплошные линии — закалка с 500°, выдержка 30 мин. и последующее старение в течение 4 суток; пунктирные линии — нагартованное состояние; б — из стали 30Х1ГСА, вдоль прокатки; сплошные линии — закалка с 820°, отпуск при 200°; пунктирные линии — закалка с 880°, отпуск при 500°; в — из стали 30Х1ГСА, поперек прокатки, сплошные линии — закалка с 880°, отпуск — 200°; пунктирные линии — нагартованное состояние

Таблица 18

Ширина и клиновидность листов

Тип стана	Диаметр и длина бочки валков мм	Ширина листа мм	Наибольшая клиновидность мм/м
Дуо Дуо	500×900 600×1200	До 750 До 1000	До 1,0 До 1,0

Таблица 19

Механические свойства клиновидных листов из алюминиевого сплава Д16 в состоянии поставки

Состояние	Предел прочности при растяжении, кг/мм ²	Предел текучести, кг/мм ²	Относительное удлинение при $l = 11,3 \sqrt{F}$ %
Закаленные и состаренные Нагартованные	≥41,5 43,5—46,5	≥27,5 34—35	≥13 10—8

Примечание. Испытанию подвергали образцы, взятые поперек направления прокатки.

Макро- и микроструктура металла листов переменного сечения, а также качество и величина плакирующего слоя, обеспечивающего их сопротивление коррозии, ничем не отличаются от листов постоянного сечения из соответствующих алюминиевых сплавов.

Листы переменного сечения из алюминиевого сплава Д16 в течение ряда лет успешно применяют для ответственных равнопрочных конструкций.

Глава VII

ПРОКАТКА-ВОЛОЧЕНИЕ ТАВРОВЫХ ПРОФИЛЕЙ ПЕРЕМЕННОГО СЕЧЕНИЯ

Тавровые профили переменного сечения изготавливаются на вальцовальном стане, оборудованном специальными клетями (валковыми фильерами), путем комбинированного процесса прокатки-волочения в неприводных валках. Переменное сечение профиля достигается путем перемещения осей неприводных валков во время процесса прокатки. Исходной заготовкой служит горячекатаный или прессованный тавровый профиль постоянного сечения.

Принципиальная схема процесса прокатки-волочения таврового профиля с переменной толщиной стойки и полок показана на рис. 91, а.

Для экспериментальной проверки этого нового процесса и для промышленной эксплуатации сконструирована и изготовлена установка, состоящая из волочильного стана с максимальным усилием волочения (40 т), двух рабочих клеток (валковых фильер) и электрической нагревательной печи (рис. 91, б).

Одна из клеток установки — трехвалковая — предназначена для уменьшения толщины стенок таврового профиля, а другая — четырехвалковая — предназначена для деформации таврового профиля по ширине и высоте ребер.

Схема расположения валков в клетях показана на рис. 92.

В начале работы передний конец заготовки пропускают через раздвинутые валки фильера. Этот конец профиля захватывается кареткой волочильного стана и протягивается через вращающийся фильер. Для получения переменной толщины стенок профиля валки фильера в процессе прокатки-волочения сближаются. Скорость сближения валков синхронизирована со скоростью волочения путем применения специальной электрической схемы.

Особенность схемы заключается в том, что для обеспечения синхронизации скоростей сближения валков и скорости движения цепи волочильного стана, генераторы, питающие двигатель механизма установки валков в рабочих клетях, посажены на один вал с главным двигателем волочильного стана. Клиновид-

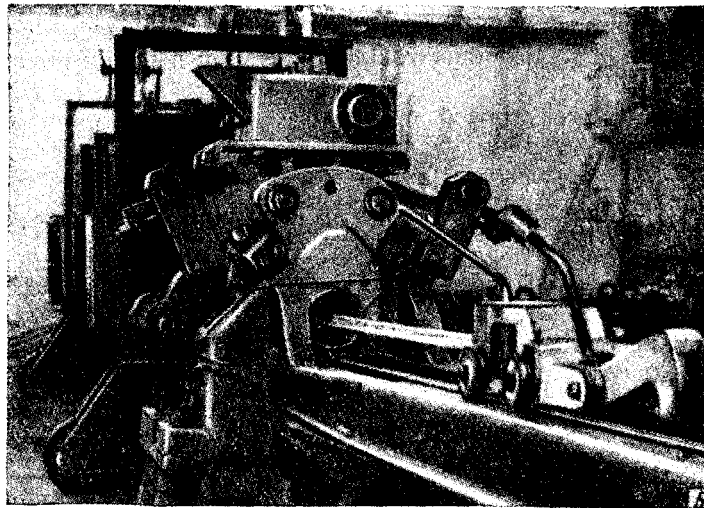
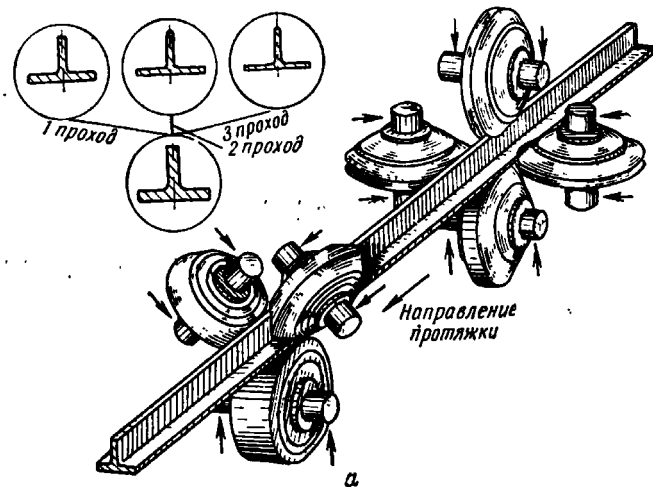


Рис. 91. Прокатка-волочение тавровых профилей переменного сечения:
а — принципиальная схема; б — установка для прокатки-волочения

ность профиля определяется в зависимости от соотношения между скоростью сближения валков и скоростью волочения.

Процесс прокатки-волочения может производиться как в холодном, так и в горячем состоянии. В последнем случае перед валковым фильером устанавливается нагревательное устройство.

По этому принципу могут быть созданы станы не только для изготовления тавровых профилей переменного сечения, но и для других типов открытых профилей, например уголковых, зетовых и т. п.

Установка для прокатки-волочения может быть также использована для калибровки горячекатаных тавровых и другого типа фасонных профилей, т. е. для придания горячекатаным профилям жестких допусков по размерам и высокого качества наружной поверхности.

На одном из отечественных металлургических заводов изготавливали тавровые профили переменного сечения из конструкционной стали 30ХГСА. В опытным порядке изготовлены партии тавровых профилей переменного сечения из дюралюмина марки Д16, причем заготовкой для этих профилей являются тавровые профили постоянного сечения, полученные путем прессования на горизонтальных гидравлических прессах.

Профили переменного сечения изготавливают также из других деформируемых металлов и сплавов.

Прокатка стальных тавровых профилей переменного сечения обычно ведется партиями, т. е. партия профилей с определенным обжатием прокатывается сначала в четырехвалковой клетке, где профиль обжимается по высоте стойки и ширине полки. Затем эта клетка с помощью мостового крана убирается, а у волочильного стана устанавливается трехвалковая клетка, в которой производится прокатка этой же партии профилей, но обжимаемых по толщине полки и стойки профиля. При наличии двух волочильных станов, валковые фильеры (3- и 4-валковый) могут быть установлены у каждого стана в отдельности и процесс прокатки-волочения профилей производится партиями, без

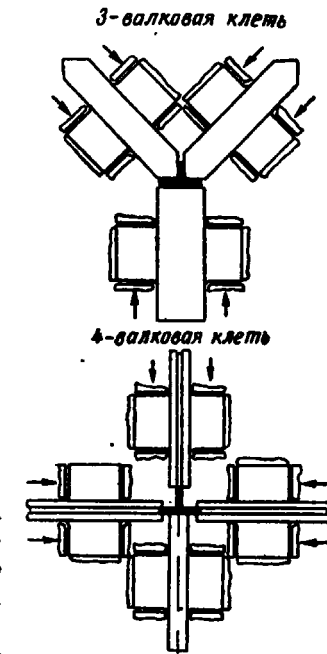


Рис. 92. Схема расположения валков в трех- и четырехвалковых клетках

перестановки валковых клетей. При сравнительно небольших обжатиях может осуществляться также непрерывный процесс прокатки-волочения профиля в обеих клетях, установленных одна за другой.

При обжатии заготовки в четырехвалковой клетке кромки профиля утолщаются и для снятия этих утолщений, а также главным образом для обжатия полок профиля и его стойки по толщине заготовка обжимается в трехвалковой клетке.

В этом случае процесс прокатки-волочения характеризуется уменьшенной трудоемкостью по сравнению с прокаткой-волочением партиями в каждой из клетей по отдельности; однако при данной схеме прокатки-волочения концевые отходы профиля увеличиваются примерно в два раза, так как для захвата кареткой волочильного стана профиль следует пропустить через обе клетки, установленные, как указано выше, последовательно одна за другой.

В производственной практике в настоящее время получил наибольшее распространение процесс прокатки тавровых профилей переменного сечения, обжимаемых по толщине подки и стойки в трехвалковой клетке.

1. КОНСТРУКЦИЯ РАБОЧИХ КЛЕТЕЙ¹

По своей конструкции трех- и четырехвалковые клетки аналогичны.

Изменение межосевого расстояния валков в четырехвалковой клетке производится опусканием верхнего валка при неподвижном нижнем и одновременном сближении боковых валков, а в трехвалковой клетке — опусканием боковых валков и подъемом нижнего. Для упрощения конструкции клетей валки в них не приводные, а движение сообщается прокатываемому металлу, как это указано выше, приложением к его переднему концу заготовки тянущего усилия от цепи волочильного стана.

Четырехвалковая клеть схематично показана на рис. 93. Все валки клетки, кроме нижнего, установленного в станине, монтируются в подвижных подушках. Перемещение трех подвижных подушек с валками осуществляется от электродвигателя постоянного тока через общий передаточный механизм. Подушки вместе с установленными в них валками перемещаются с помощью винта, проходящего через гайку, закрепленную в станине. Этот винт в верхней части имеет нарезку с шагом, большим, чем в нижней, благодаря чему при опускании винта траверса поднимается. Последняя передает движение подушкам через тяги, шарнирно связанные с рычагами (через роликовые опоры).

¹ Конструкция клетей разработана инж. Г. М. Зак.

Между роликовыми опорами и подушками установлен клиновой механизм, с помощью которого осуществляется настройка валков без изменения кинематических соотношений. Таким об-

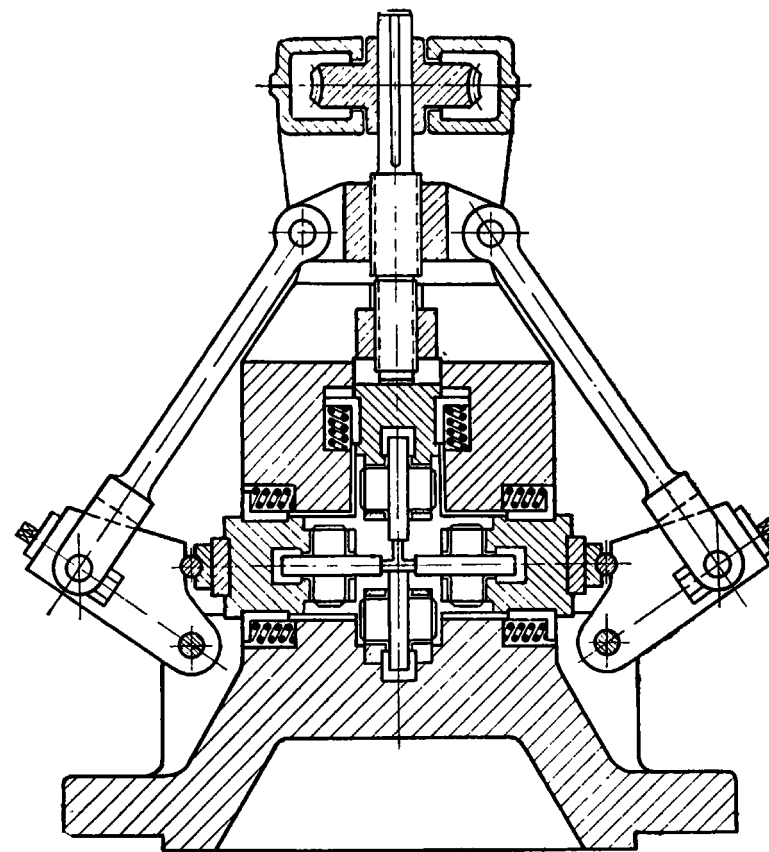


Рис. 93. Схема устройства четырехвалковой клетки

разом, при перемещении верхнего валка вниз боковые валки сближаются, причем относительная скорость их сближения зависит от соотношения шага винтовой нарезки в нижней и верхней частях нажимного винта (и отношения плеч рычагов). Конструкция предусматривает возможность регулировки плеч рычагов в пределах 20%, что является достаточным для получения широкого сортамента профилей. Регулировка в больших пределах осуществляется применением нажимного винта и гайки траверсы с другим шагом резьбы.

Принципиальная схема устройства трехвалковой клетки (рис. 94) отличается от описанной выше схемы четырехвалковой клетки только расположением валков и направлением их пере-

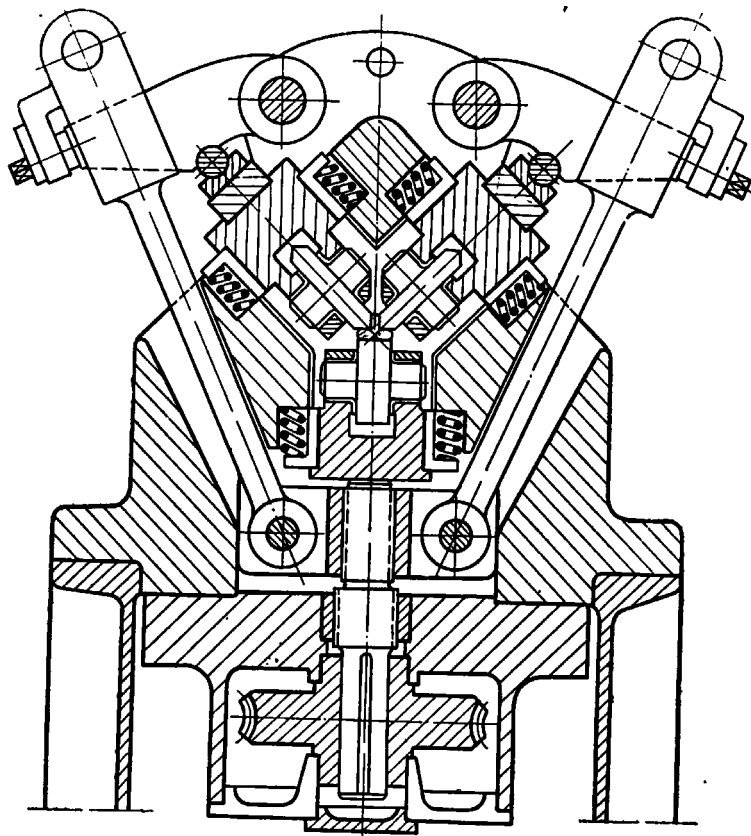


Рис. 94. Схема устройства трехвалковой клетки

мещения. Разница заключается в том, что в трехвалковой клетке все рабочие валки подвижные, нажимное устройство располагается внизу, а привод нажимного устройства с двухступенчатым редуктором расположен вне клетки и соединяется с червячным валом с помощью универсального шарнирного шпинделя.

Перемещение нижнего валка за один цикл составляет 3 мм, а наклонных валков — 1,41 мм. Эти перемещения валков определяются соотношением шагов резьбы в гайках станины и подвижной траверсы и величиной плеч нажимных рычагов. Изменение большого плеча обеспечивает регулировку относительного

перемещения наклонных валков в пределах 13%. Большие пределы регулировки можно получить за счет изменения соотношений шагов резьбы в подвижной и неподвижной гайках.

Нажимное устройство с индивидуальным приводом монтируется в четырехвалковой клетке непосредственно в верхней части станины, а в трехвалковой клетке — в нижней части. Привод нажимного устройства четырехвалковой клетки располагается на самой клетке, а у трехвалковой клетки (ввиду его больших габаритов) смонтирован отдельно. Выходной вал редуктора соединяется с валом червяка нажимного устройства при помощи универсального шпинделя, исключающего необходимость тщательной выверки положения клетки относительно привода при монтаже.

Расположение электрооборудования на стане показано на рис. 95.

2. ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ СХЕМА УПРАВЛЕНИЯ НАЖИМНЫМ МЕХАНИЗМОМ СТАНА¹

Схема управления нажимным механизмом стана представлена на рис. 96. В верхней части схемы показаны главные цепи. Двигатель нажимного механизма *Д* питается от индивидуального генератора *Г*. Последовательно в их цепь введен линейный контактор *Л*, а также катушка максимального реле *РМ*, катушка реле ограничения крутящего момента (упорное реле) *РО* и шунт амперметра *Ш*. Предусмотрено также динамическое торможение с помощью контактора динамического торможения *Т*, закорачивающего якорь двигателя (при разомкнутом линейном контакторе *Л*) на сопротивление динамического торможения *СТ*.

В этой части схемы показано, что генератор и двигатель снабжены тахогенераторами *ТГГ* и *ТГД* и соответственно таховольтметрами *ТВГ* и *ТВД*. На клеммах генератора включены реле напряжения *РЭ* и вольтметр *V*.

Ниже схемы главных цепей приведена схема управления. Питание подводится от цеховой сети постоянного тока через рубильник *Р* и предохранители *П*. Управление осуществляется универсальным переключателем *УП* на три положения. Двустороннее движение нажимного устройства обеспечивается включением обмотки возбуждения генератора *ОВГ* в реверсивную схему, осуществленную с помощью реверсивных контакторов *В* и *Н*. Для перемещения нажимных винтов вхолостую в одну и другую сторону, а также для поджима профиля универсальный переключатель *УП* переводится в первое положение

¹ Электрическая схема разработана Н. Н. Дружининым, А. Е. Гуревичем и М. И. Рейфисовым.

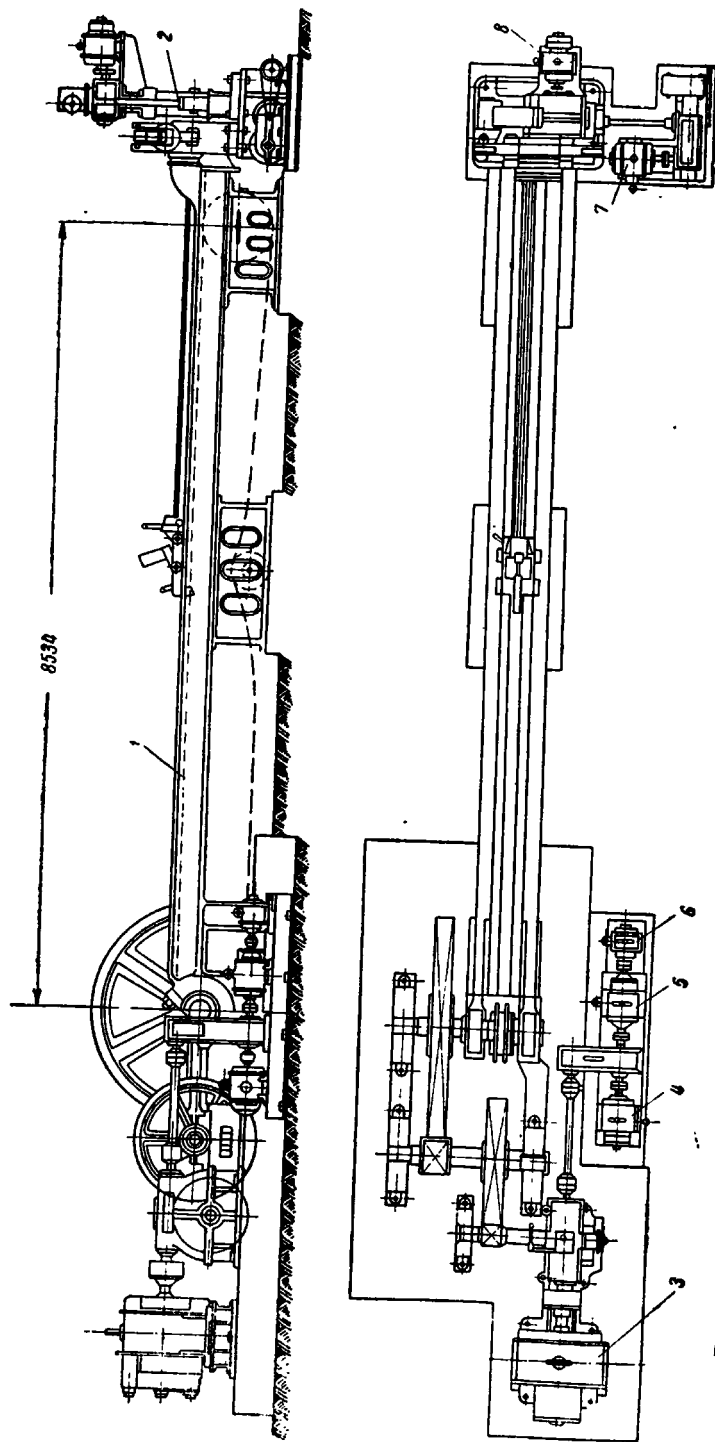
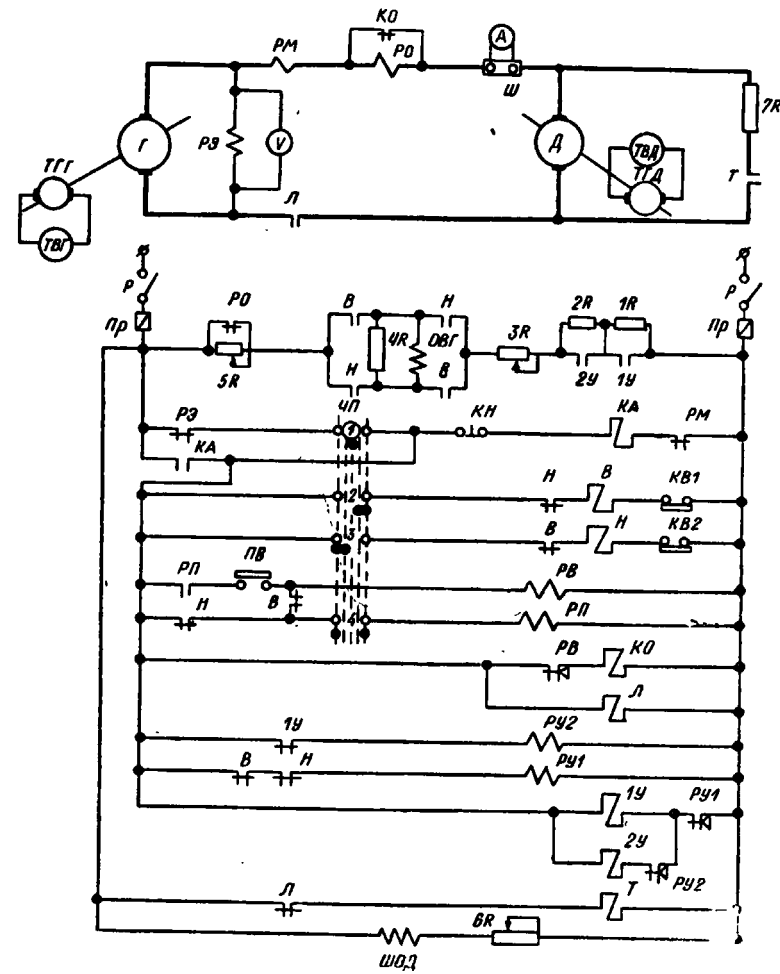


Рис. 95. Расположение электрооборудования на стане для прокатки-волочения профилей переменного сечения: 1 — волоочильный стан; 2 — валковая клет; 3 — главный двигатель стана, 4, 5 — генераторы, питающие двигатели нажимных устройств валковых клеток; 6 — тахогенератор; 7, 8 — двигатели нажимных устройств валковых клеток



«вперед» или «назад». При этом соответственно включается реверсивный контактор *В* или *Н*; генератор получает возбуждение, и скорость двигателя начинает возрастать. До этого момента включается линейный контактор *Л* и аварийный (нулевой) контактор *КА*. Нормально замкнутый блок-контакт *В* (или соответственно *Н*) размыкает свой контакт в цепи реле *РУ1* и *РВ*. Первое обеспечивает с небольшой выдержкой времени замыкание своего контакта в цепи контактора ускорения *1У*, закорачивающего первую ступень *1СУ* в цепи возбуждения. Последовательно срабатывает реле *РУ2*, контактор *2У* и закорачивается сопротивление *2СУ* в той же цепи. Реле *РВ* является в известной мере программным: имея выдержку времени, перекрывающую время пуска, оно замыкает свой контакт в цепи контактора ограничения крутящего момента *КО*, а последний размыкает свой контакт, блокировавший реле ограничения момента *РО*. Если при дальнейшем перемещении валки соприкоснутся с профилем до поджима, то после нарастания тока до заданной величины, откроется нормально замкнутый контакт *РО* в цепи возбуждения генератора и в эту цепь будет введено сопротивление *СО*.

Рабочий ход определяется следующими положениями: универсальный переключатель должен быть переведен во второе положение «вперед» или «назад», в валки должен быть заправлен профиль, который замкнет нормально открытые контакты специального путевого выключателя *ПВ*. При рабочем ходе вперед замыкаются контакты 4 универсального переключателя, и через нормально замкнутые контакты *Н* получает питание промежуточное реле *РП*, которое замыкает контакты в цепи *РВ*. При замкнутых контактах *ПВ* поддерживается питание реле *РВ*, соответственно обесточивается контактор ограничения момента *КО* и ограничение крутящего момента двигателя не действует. Оно начинает вновь действовать после выхода металла из валков, вызывающего размыкание контактов путевого выключателя *ПВ*, потерю возбуждения реле *РВ* и открытие контактов *КО*.

В схеме предусмотрен также аварийный (нулевой) контактор *КА*, в цепь катушки которого введена защита *РМ*, а также блокировка, предотвращающая пуск при наличии напряжения на генераторе *РЭ* и обеспечивающая возврат универсального переключателя *УП* в нулевое положение после аварийного отключения.

Контактор динамического торможения *Т* включается только при отключении схемы с помощью кнопки *КН* или аварии при срабатывании максимального реле *РМ*. Требуемая скорость устанавливается с помощью шунтовых реостатов в цепях возбуждения генератора *ЗР* и двигателя *БР*. Последний служит для регулировки скорости в ограниченных пределах.

Порядок операций следующий: установив нужный раствор валков, вставляют между ними тавровый профиль. При этом нормально открытый контакт путевого выключателя *ПВ* закрывается, подготавливая цепь для включения реле *РВ*. Переключатель управления переводится в первое положение «вперед», валки доходят до профиля и соприкасаются с ним, вследствие чего ток в главной цепи возрастает, срабатывает реле ограничения момента *РО* и в цепь возбуждения генератора вводится сопротивление, ограничивающее момент двигателя до заданной величины.

После захвата конца таврового профиля кареткой и начала волочения оператор переводит ручку *УП* во второе положение. При этом возбуждается реле *РП* и реле *РВ*. В результате шунтируется реле *РО* и сопротивление *СО*, а ограничение крутящего момента на рабочий цикл снимается. Как только профиль выйдет из валков, контакты путевого выключателя *ПВ* откроются, *РВ* потеряет возбуждение и реле *РО* будет вновь введено. При этом схема начинает работать с ограничением.

3. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ И ОСВОЕНИЕ ПРОКАТКИ-ВОЛОЧЕНИЯ ТАВРОВЫХ ПРОФИЛЕЙ ПЕРЕМЕННОГО СЕЧЕНИЯ¹

При прокатке фасонных профилей почти всегда наблюдается значительная неравномерность деформации отдельных частей профиля. Это, как известно, приводит к появлению внутренних напряжений, которые могут возрасти настолько, что приведут к разрушению металла профиля. Для предотвращения этого явления при прокатке-волочении таврового профиля нужно стремиться к равенству вытяжек полки и стойки. Если допустить, что стойка и полка профиля прямоугольны, то в любом сечении профиля, перпендикулярном направлению прокатки, должно удовлетворяться равенство:

$$\frac{\Delta H}{\Delta a} = \frac{H_0}{a_0},$$

где H_0 — толщина полки профиля до прокатки;
 a_0 — толщина стойки профиля до прокатки;
 ΔH — обжатие полки в рассматриваемом сечении;
 Δa — обжатие стойки в том же сечении.

Этому уравнению должны также удовлетворять размеры начального и конечного сечений прокатанной заготовки. Последнее обстоятельство должно учитываться конструктором при назначении размеров профиля.

¹ Работа выполнена С. П. Грановским, В. Ф. Калугиным и Э. Р. Шором.
 12 Э. Р. Шор

Соблюдение строгого равенства вытяжек полки и стойки профиля затруднительно, поэтому практически неизбежна некоторая неравномерность их деформации. Вследствие этого при выходе из валков профиль будет изгибаться, и если напряжение изгиба превзойдет допускаемое, то металл будет разрушаться.

При выборе величины максимального обжатия профиля за один проход, кроме факторов, учитываемых при обычной прокатке (пластичность металла, прочность деталей стана, мощность двигателей и другие), необходимо учитывать, что растягивающие напряжения, создаваемые усилием волочения, не должны превышать предел текучести прокатываемого металла.

Исходным материалом для проведения опытных работ по прокатке-волочению в трехвалковой клети служили прессованные тавровые профили постоянного сечения из дюралюмина марки Д16 размером $57 \times 40 \times 6 \times 4$. Заготовки перед прокаткой отжигали и разрезали на куски длиной 3—3,5 м.

Перед прокаткой валки устанавливаются таким образом, чтобы они образовывали калибр, равный по форме и размерам исходному сечению таврового профиля. После этого валки раздвигаются и между ними пропускают конец заготовки. Затем валки сближаются и, когда усилие прижатия валков достигает необходимой величины, электродвигатель механизма установки валков автоматически отключается. Свободный конец заготовки зажимается губками каретки волочильного стана, крюк которой набрасывается на движущуюся цепь стана. В тот момент, когда заготовка начинает двигаться, снова включается двигатель механизма установки валков и заготовка деформируется.

Для того чтобы фиксировать при прокатке положение профиля, перед валками установлены специальные проводки. На рис. 97 представлена фотография трех поперечных сечений профиля по длине прокатанной заготовки.

В начале работ по наладке стана рычаги, с помощью которых регулируется соотношение обжатий полки и стойки профиля, были установлены в среднем положении, и, когда обжатие достигло 30%, появились трещины у основания стойки профиля. Это указывало на наличие больших внутренних напряжений в сечении профиля. В дальнейшем, регулируя отношение обжатий $\frac{\Delta H}{\Delta a}$, удалось устранить появление трещин в прокатываемых профилях.

Максимальное обжатие за один проход при прокатке профилей из дюралюмина ограничивалось сопротивлением разрыву сечения профиля.

Установлено, что дюралюминиевый тавровый профиль указанных выше размеров целесообразно прокатывать в три прохода с общим обжатием полки с $H_0 = 6,5$ до $H_k = 4,0$ мм и стойки

с $a_0 = 4,2$ до $a_k = 2,4$ мм. Дальнейшая деформация без предварительного отжига становилась нецелесообразной, так как металл сильно упрочнялся.

После каждого прохода механизм установки валков реверсировался и валки занимали исходное положение. Длина обжимаемой части заготовки от прохода к проходу увеличивалась, отношение же чисел оборотов двигателей оставалось неизменным.

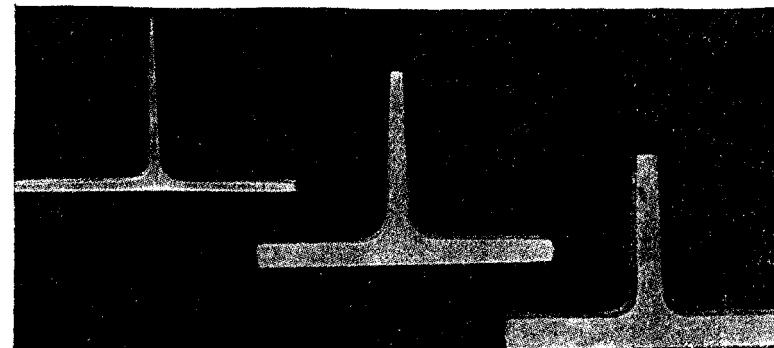


Рис. 97. Вид поперечных сечений таврового профиля, взятых по длине заготовки, прокатанной в трехвалковой клети

Величина клиновидности прокатываемого таврового профиля, так же как и при прокатке полос переменного сечения, регулировалась изменением отношения чисел оборотов двигателей.

Для холодной прокатки тавровых профилей из стали 30ХГСА был изготовлен и термически обработан комплект валков из стали ШХ15. Вследствие малой мощности привода механизма установки валков и большого сопротивления деформации прокатываемого металла достигались сравнительно небольшие обжатия за один проход. Величина обжатия в отличие от предыдущих опытов ограничивалась не сопротивлением разрыву сечения профиля, а мощностью механизма установки валка. Исходный профиль, имевший толщину полки $H_0 = 6,0 \div 5,5$ мм и стойки $a_0 = 4,5 \div 5,0$ мм, прокатывали за 3—4 прохода до толщины в тонком сечении $H_k = 4,5 \div 5,0$ мм и $a_k = 3,5 \div 3,9$ мм. Затем заготовки подвергали отжигу и снова прокатывали за 2—3 прохода до толщины $H_k = 2,7 \div 3,3$ мм и $a_k = 2,0 \div 2,6$ мм. При прокатке профилей из стали 30ХГСА в местах стыка полки и стойки не появлялись трещины, как это наблюдалось при прокатке профилей из дюралюмина.

Проведена также горячая прокатка тавровых профилей переменного сечения из стали 30ХГСА. Нагрев заготовок до температуры 850—1000° производился в электропечи, установленной перед валковой клетью. Передний конец нагретой заготовки вытаскивали из печи и продвигали между раздвинутыми валками фильера. Часть заготовки, которая должна была обжиматься в данном проходе оставалась в печи и не охлаждалась до начала прокатки. Горячую прокатку профилей из стали 30ХГСА производили только за один проход. Величина обжатия за один про-

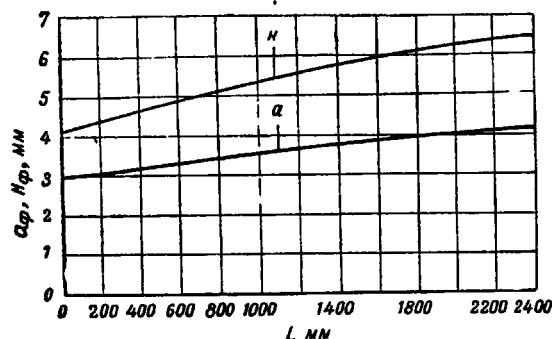


Рис. 98. Изменение размеров n (ножка) и a (полка) таврового профиля переменного сечения

ход ограничивалась сопротивлением разрыву сечения профиля и доходила для полки до 1,5—1,7 мм, в то время, как при холодной прокатке достигалось максимальное обжатие полки лишь на 0,7—0,8 мм.

Были произведены тщательные замеры прокатанных профилей. Строился график изменения толщины отдельных элементов профиля (рис. 98). Ниже приводится краткий анализ результатов исследования геометрии прокатанных профилей.

1. Толщина профиля изменяется почти по линейному закону. Отклонения от этого закона не превышают 0,1 мм для дюралюминиевых профилей и 0,2 мм для хроманселевых профилей. На участках заготовки, расположенных вблизи толстого сечения (длина этих участков колебалась в пределах 100—400 мм), наблюдаются большие отклонения от линейного закона, чем на основной части заготовки.

2. Величина фактической клиновидности прокатанных профилей меньше расчетной. Отношение расчетной клиновидности и фактической колеблется в пределах $\delta = 1,2 \div 1,6$ для дюралюминиевых профилей и $\delta = 1,5 \div 1,8$ для профилей из стали 30ХГСА.

3. Вытяжки полки и стойки приблизительно одинаковы. (Отношение вытяжек колеблется в пределах $\lambda = 1,02 \div 1,07$.) Отношение обжатия $\left(\frac{\Delta H}{\Delta a}\right)$ изменяется в зависимости от исходных размеров профиля, длины плеча регулировочного рычага механизма (R) и величины обжатия за проход. В проведенных опытах отношение $\frac{\Delta H}{\Delta a}$ колебалось в пределах 1,5—1,6 при длине плеча $R = 430$ мм и $\frac{\Delta H}{\Delta a} = 1,7 \div 1,8$ при $R = 390$ мм.

4. При прокатке-волочении дюралюминиевых тавровых профилей с суммарным обжатием $\Sigma = 50 \div 60\%$, уширение подошвы профиля не превышало 1 мм.

Как указывалось выше, четырехвалковая клеть предназначена для обжатия по ширине и высоте стенок таврового профиля. В качестве металла для проведения опытов в четырехвалковой клети был выбран отожженный дюралюминиевый тавровый профиль постоянного сечения. На бочке верхнего горизонтального вала имелась канавка, в которой фиксировалось положение стойки профиля. Три остальных вала фильера имели гладкую бочку. В результате первых опытов по холодной прокатке была получена заготовка, сечение которой представлено на рис. 99. Несмотря на большие обжатия по ширине и высоте профиля (в пределах 30%), стенки его почти не искривлялись, но деформация по сечению распространялась неравномерно. Так как в направлении обжатия толщина стенок профиля была почти в 10 раз больше ее ширины, то деформированный металл смещался не вдоль направления прокатки, а образовывал утолщение вблизи контактной поверхности. На рис. 99 видно также, что у стойки деформированный металл располагался симметрично, в то время как у полки металл смещался, образуя ребра с острыми углами. Для устранения этого недостатка на горизонтальных валах были сделаны такие же канавки, как и на верхнем вертикальном валке. После этого металл при деформации симметрично размещался по сечению (рис. 100).

Для того чтобы восстановить постоянную толщину профиля, заготовку после прокатки в четырехвалковой клети прокатывали в трехвалковой, валки которой образовывали калибр, равный первоначальному сечению профиля. При этом металл смещался по направлению прокатки и профиль значительно удлинялся. На рис. 101 представлены сечения концов заготовки, прокатанной в четырех- и трехвалковой клетях. На одном конце заготовки ширина полки равна 57 мм и высота стойки — 40 мм, на другом конце соответствующие размеры сечения были 37 и 25 мм, т. е. было достигнуто обжатие по ширине и высоте стенок профиля в пределах 30—35%. Между крайними сечениями заготовки

геометрические размеры профиля изменялись по линейному закону.

Микро- и макроструктура, а также механические свойства профилей (рис. 102 и 103) удовлетворяют техническим условиям

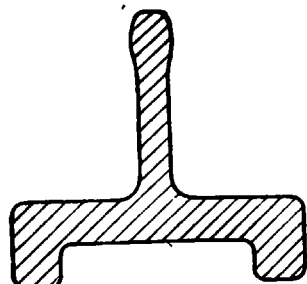


Рис. 99. Поперечное сечение таврового профиля после прокатки-волочения в четырехвалковой клети на валках без направляющих канавок

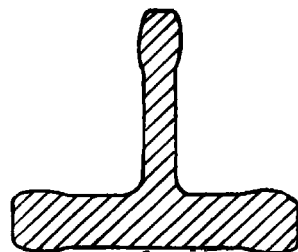


Рис. 100. Поперечное сечение таврового профиля после прокатки-волочения в четырехвалковой клети с направляющими канавками на валках

для данных металлов. Исследование геометрии профиля показало, что эти профили могут вполне заменить фрезерованные и строганные.

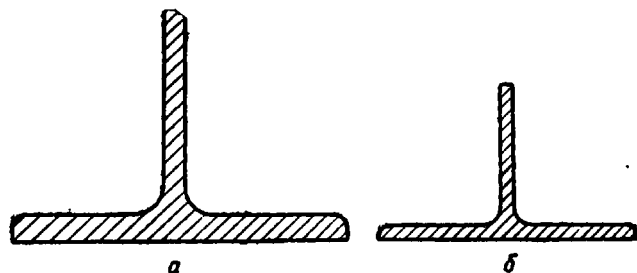


Рис. 101. Поперечное сечение таврового профиля после прокатки-волочения в четырех- и трехвалковых клетях:
а — толстый конец; б — тонкий конец

Основными параметрами процесса прокатки-волочения являются усилие волочения и давление металла на валки.

Для измерения этих параметров применяли индуктивный датчик конструкции ВНИИМЕТМАШ. Аппаратура для измерений состоит из индуктивной головки, осциллографа и феррорезонансного стабилизатора напряжений.

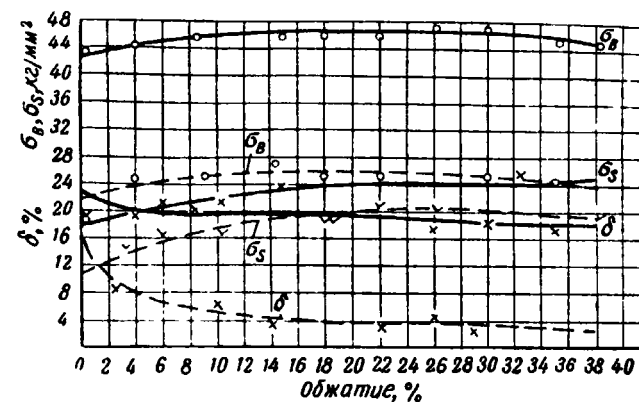


Рис. 102. Механические свойства профилей переменного сечения из сплава Д16 в зависимости от обжатия при прокатке-волочении:
— закалка 500°, выдержка 30 мин. и последующее старение 4 суток; - - - нагартованное состояние

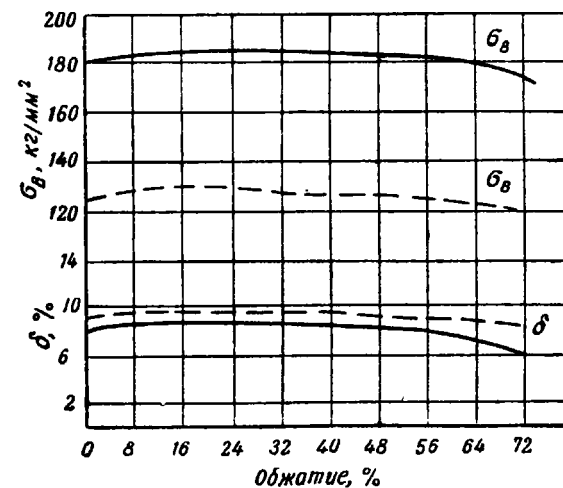


Рис. 103. Механические свойства профилей переменного сечения из стали 30ХГСА в зависимости от обжатия при прокатке-волочении, после закалки при 880° и отпуска: при 200° сплошная линия; при 500° пунктирная

Для проведения исследования были использованы горячекатаные отожженные профили из стали 30ХГСА размером $6,5 \times 4,0 \times 62 \times 39,5$ мм и прессованные профили из алюминиевого сплава Д16 размером $10,0 \times 6,0 \times 57 \times 40$ мм. Выбор металлов со значительной разницей в механических свойствах служил для оценки принятой методики исследования.

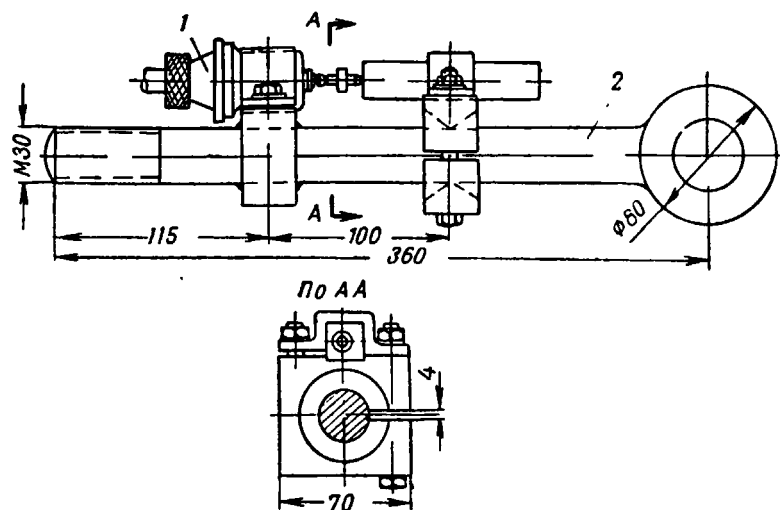


Рис. 104. Приспособление для измерения усилия волочения:
1 — индуктивная головка; 2 — соединительная тяга

Прокатка-волочение профилей из стали 30ХГСА производилась как в холодном, так и горячем состояниях. Прокатка-волочение профилей из сплава Д16 производилась только в холодном состоянии.

Для измерения усилия волочения между двумя каретками волочильного стана устанавливалась соединительная тяга круглого сечения диаметром 30 мм, на которой монтировался индуктивный датчик. Чертеж тяги с установленным на ней индуктивным датчиком показан на рис. 104.

Тягу вместе с индуктивным датчиком тарировали на 50-т разрывной машине. Как было установлено теоретическими расчетами, величины средних удельных давлений для отдельных элементов таврового профиля (полка, ребро) были примерно одинаковыми — расхождение составляло 5—7%. Поэтому среднее удельное давление определяли только для одной полки таврового профиля. Если известна величина среднего удельного давления металла на валки, то общее давление рассчитывается как

произведение среднего удельного давления на площадь контакта. Индуктивные датчики были установлены на тягах трехвалковой клетки (рис. 105).

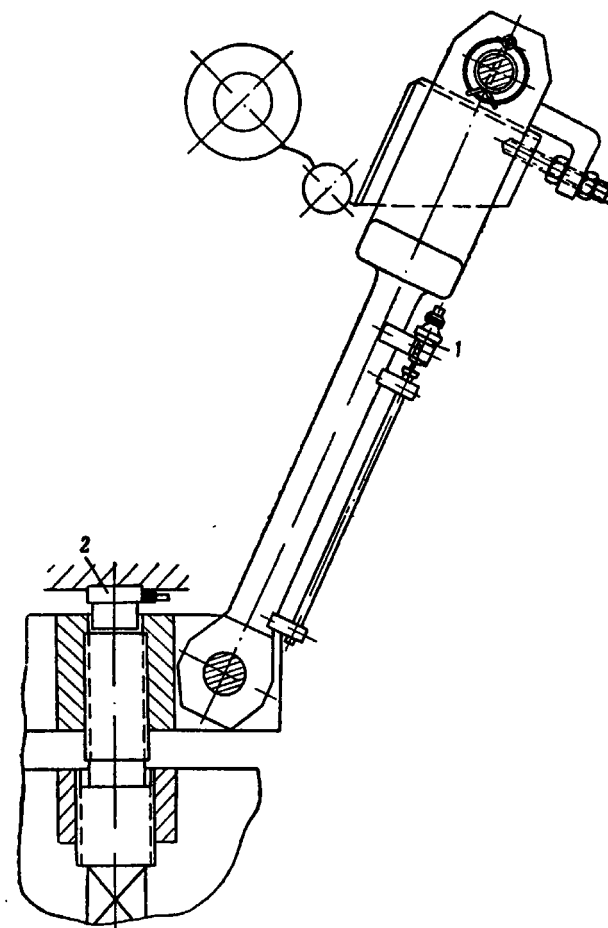


Рис. 105. Установка измерительных приборов на трехвалковой клетке:
1 — индуктивная головка; 2 — месдоза

Методика исследования заключалась в следующем: тавровый профиль пропускали через зазор между валками, захватывали зажимом каретки волочильного стана и производили сближение валков; после поджима включались шлейфы осциллографа и одновременно с этим каретка волочильного стана с зажатым тавровым профилем присоединялась к цепи стана.

Типичная осциллограмма, записанная при холодной прокатке-волочении тавровых профилей переменного сечения (сталь

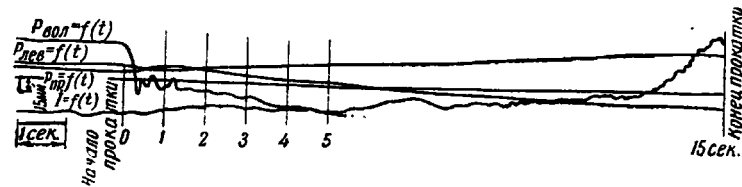


Рис. 106. Осциллограмма процесса холодной прокатки волочения тавровых профилей переменного сечения в трехвалковой клети.

Начальные размеры профиля: $62 \times 39,5 \times 6,5 \times 4$ мм.

I — кривая силы тока главного двигателя волочильного стана; $P_{вол}$ — кривая усилия волочения; $P_{пр}$ — кривая усилия, возникающего в правой тяге трехвалковой клети; $P_{лев}$ — кривая усилия, возникающего в левой тяге трехвалковой клети

30ХГСА) представлена на рис. 106. Скорость волочения во время исследования колебалась в пределах от 5,0 до 5,5 м/мин.

На рис. 107—109 представлены диаграммы изменения усилия волочения в зависимости от обжатия при прокатке-воло-

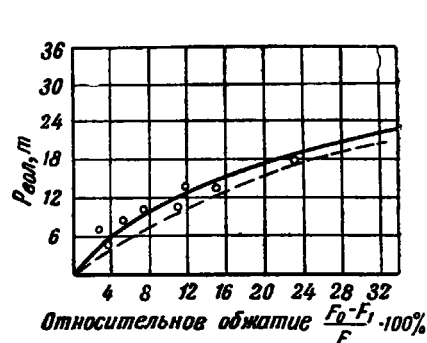


Рис. 107. Усилие волочения в зависимости от обжатия при холодной прокатке-волочении таврового профиля переменного сечения из стали 30ХГСА. Начальные размеры профиля: $62 \times 39,5 \times 6,5 \times 4$ мм. Точки — опытные; кривые — по теоретическим формулам (В. Ф. Калугин)

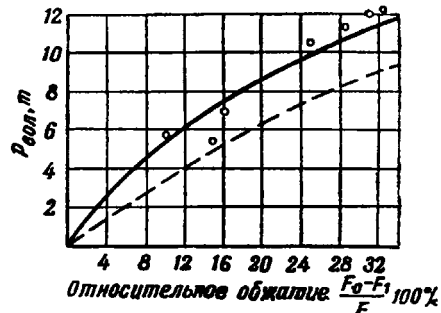


Рис. 108. Усилие волочения в зависимости от обжатия при холодной прокатке-волочении таврового профиля переменного сечения из алюминиевого сплава Д16. Начальные размеры профиля: $57 \times 40 \times 10 \times 6$ мм. Точки — опытные; кривые — по теоретическим формулам (В. Ф. Калугин)

чении тавровых профилей переменного сечения из стали 30ХГСА и алюминиевого сплава Д16.

На рис. 110 и 111 представлены кривые изменения среднего удельного давления в зависимости от обжатия при холодной

прокатке-волочении тавровых профилей переменного сечения из стали 30ХГСА и сплава Д16. Из рассмотрения кривых видно, что среднее удельное давление с ростом обжатия незначительно увеличивается.

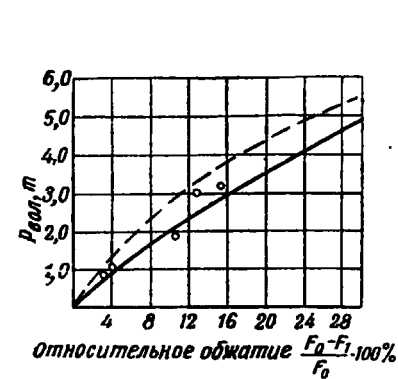


Рис. 109. Усилие волочения в зависимости от обжатия при горячей прокатке-волочении таврового профиля переменного сечения из стали 30ХГСА. Начальные размеры профиля: $62 \times 39,5 \times 6,5 \times 4$ мм. Точки — опытные; кривые — по теоретическим формулам (В. Ф. Калугин)

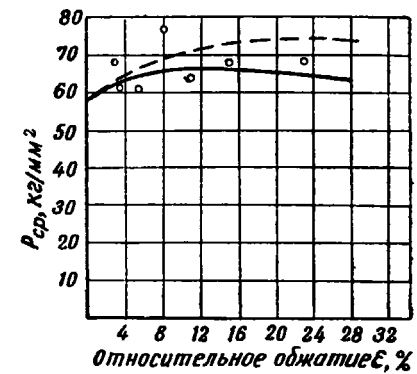


Рис. 110. Среднее удельное давление на горизонтальный валок трехвалковой клети при холодной прокатке-волочении тавровых профилей переменного сечения из стали 30ХГСА. Начальные размеры профиля: $62 \times 39,5 \times 6,5 \times 4$ мм. Точки — опытные; кривые — по теоретическим формулам (В. Ф. Калугин)

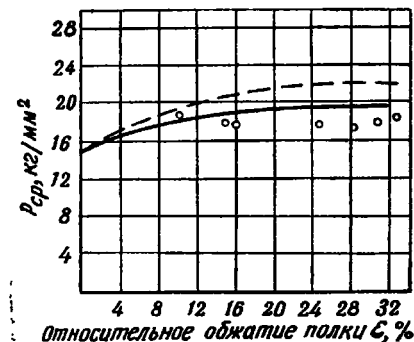


Рис. 111. Среднее удельное давление на горизонтальный валок трехвалковой клети при холодной прокатке-волочении тавровых профилей переменного сечения из алюминиевого сплава Д16. Начальные размеры профиля: $57 \times 40 \times 10 \times 6$ мм. Точки — опытные; кривые — по теоретическим формулам (В. Ф. Калугин)

Усилие волочения для процесса прокатки-волочения тавровых профилей из стали 30ХГСА в трехвалковой клети при максимальном обжатии 30—35% составляет: для холодной про-

катки-волочения 20—25 т, для горячей прокатки-волочения 5—6 т; для холодной прокатки-волочения профилей из алюминиевого сплава Д16 10—12 т.

Среднее удельное давление для стали 30ХГСА в холодном состоянии, согласно полученным экспериментальным данным, не превышает 70—75 кг/мм².

4. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС ПРОКАТКИ-ВОЛОЧЕНИЯ ПРОФИЛЕЙ ПЕРЕМЕННОГО СЕЧЕНИЯ

Профили переменного сечения изготавливаются из горячекатаных тавровых профилей постоянного сечения. Разработано два технологических процесса прокатки-волочения: 1) в холодном состоянии с операцией промежуточного отжига и 2) в горячем состоянии с охлаждением участка профиля, выходящего из зоны деформации.

При прокатке в холодном состоянии максимальное обжатие за каждый проход составляет для стали 30ХГСА 20—25%; в горячем состоянии обжатие за проход может для той же стали достигать до 50% (при охлаждении водой или эмульсией зоны профиля выходящей из валков).

Как уже было выше сказано, величина максимального обжатия за проход в процессе волочения ограничивается главным образом величиной растягивающих напряжений, возникающих в профиле под действием усилия волочения. Эти напряжения не должны превышать предел текучести материала профиля, так как в противном случае за зоной деформации на нем образуется шейка (см. рис. 112) и профиль в этом месте обрывается. Поэтому до сих пор в производственной практике волочильных цехов не применяется процесс горячего волочения. Однако нами было замечено, что образование шейки при горячей прокатке-волочении с повышенным обжатием и соответственно этому увеличенным усилием волочения происходит по выходе профиля из валков на расстоянии 200—250 мм за зоной деформации.

С целью интенсификации обжатия профиля при горячей прокатке-волочении на стане было установлено простое приспособление, показанное на рис. 113. Это приспособление состоит из трубки, свернутой в кольцо, в которой просверлено большое число отверстий диаметром 1,5—2 мм. Подводимая к трубке вода или эмульсия, проходя через отверстия в трубке, разбрызгивается, интенсивно и равномерно охлаждает профиль, не допуская образования шейки и его обрыва при волочении.

При изготовлении таврового профиля из стали 30ХГСА с исходным сечением 70×45×7,5×6 мм и конечным 40×20×2,5××2 мм (используя описанный метод горячей прокатки-волочения

с охлаждением¹⁾, удалось получить данный профиль за три прохода.

Распределение обжатий по проходам приведено в табл. 20, из которой видно, что в первом проходе достигнуто уменьшение

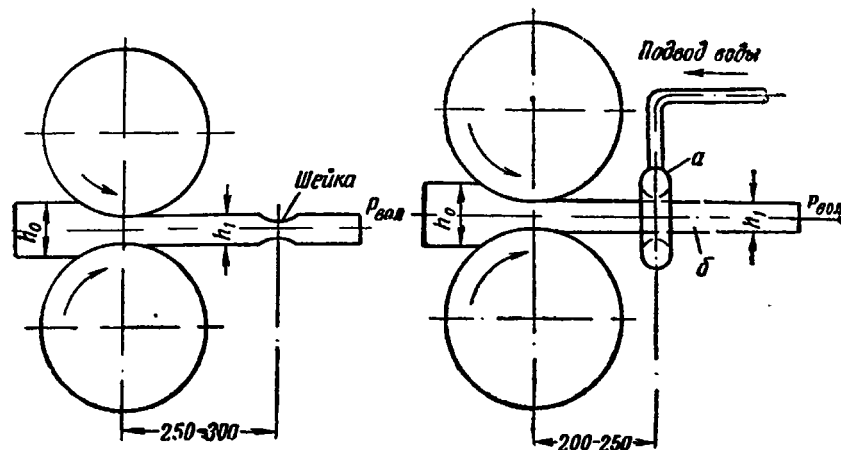


Рис. 112. Схема образования шейки при прокатке-волочении в горячем состоянии без охлаждения

Рис. 113. Схема горячей прокатки-волочения с охлаждением участка профиля, выходящего из валков: а — трубка с отверстиями; б — протягиваемый профиль

Таблица 20

Распределение обжатий при горячей прокатке-волочении

Номер прохода	Площадь сечения профиля, мм ²	Уменьшение площади сечения, мм ²	Относительное уменьшение поперечного сечения	Коэффициент вытяжки	Примечание
0	759	—	—	—	Исходный профиль
1	380	379	60	2,0	В горячем состоянии
2	208,5	171,5	45,2	1,82	с охлаждением
3	153	55,5	26,7	1,37	То же
					В холодном состоянии

¹⁾ Процесс горячего волочения с охлаждением предложен и осуществлен чл.-корр. АН СССР А. И. Целиковым, канд. техн. наук Э. Р. Шором и канд. техн. наук В. Ф. Калугиным.

площади поперечного сечения на 50%, а коэффициент вытяжки равен 2.

Величины обжатия значительно превосходят степени обжатия, полученные до сих пор в процессе горячей прокатки тавровых профилей или при волочении в холодном состоянии обычных круглых прутков.

При проведении процесса в горячем состоянии с охлаждением тавровый профиль обжимался как по ширине полки и ребра, так и по их толщине.

Подсчет удельного расхода энергии на тонну проката показал, что при деформировании в холодном состоянии расходует 5 кВт·ч, а при горячей прокатке-волочении — 1,75 кВт·ч/т профилей. Это дает экономию в расходе энергии около 65%.

Исследование механических свойств макро- и микроструктуры и качества поверхности тавровых профилей из стали 30ХГСА, полученных по новому процессу, показало, что по своим свойствам они вполне соответствуют требованиям, предъявляемым к стальным профилям.

При холодной прокатке-волочении профилей из дюралюмина обжатие за проход составляет ~20—25%. После суммарного обжатия в 40—45% профили должны подвергаться промежуточному отжигу.

Величина перемещения рабочих валков при работе стана, создаваемая механизмом сближения валков, изменяется вследствие значительных упругих деформаций деталей стана. Поэтому при прокатке неизбежны отклонения фактически полученной клиновидности профиля от расчетной, подсчитанной по скорости электродвигателей. Влияние опережения на изменение геометрических размеров профиля по его длине при прокатке-волочении не имеет места, так как скорость двигателя механизма сближения валков синхронизирована со скоростью цепи волочильного стана.

Обжатие стойки и полки профиля по толщине определяют по перемещению горизонтального и наклонных валков трехвалковой клетки в процессе деформации.

Деформация элементов профиля (рис. 114) связана с перемещением подушек рабочей клетки следующими равенствами:

$$\Delta h = h_r + h_n;$$

$$\Delta a = 2h_n,$$

где h_r — перемещение подушки горизонтального валка при вращении нажимного винта;

h_n — перемещение подушек наклонных валков в направлении толщины стойки и полки.

В свою очередь перемещения горизонтального и наклонных валков при вращении нажимного винта связаны равенством:

$$h_n = \alpha \cdot \beta \cos 45^\circ \quad h_r = kh_r,$$

где α — коэффициент редукции рычажной системы механизма;

β — коэффициент редукции резьбовых соединений станины и траверсы.

Коэффициент α определяют графоаналитическим способом для различных перемещений траверсы. В данной установке для прокатки-волочения коэффициент α колеблется в зависимости от длины регулировочного рычага в пределах 0,48—0,56.

Коэффициент β определяется по формуле

$$\beta = \frac{t_p}{t_r},$$

где t_p — шаг резьбы в траверсе;

t_r — шаг резьбы в гайке станины.

В данной конструкции $\beta = 1$.

Подставляя значения h_n , получим

$$\frac{\Delta h}{\Delta a} = \frac{1+k}{2k}. \quad (88)$$

В установке для прокатки-волочения отношения обжатия полки (Δh) к обжатию ребра (Δa) будет равно 1,75—1,95.

Измерение элементов таврового профиля переменного сечения показало, что толщина полки и стойки профиля изменяется с достаточной точностью ($\pm 0,1$ мм) по прямолинейному закону. Методом средних отклонений определены следующие уравнения, удовлетворяющие числовым значениям размеров:

$$h_x = h_k + \operatorname{tg} \beta_n L;$$

$$a_x = a_k + \operatorname{tg} \beta_n L, \quad (89)$$

где h_x — толщина полки профиля на расстоянии x от заднего конца;

h_k — толщина полки профиля у заднего конца;

a_x — толщина стойки профиля на расстоянии x от заднего конца;

a_k — толщина стойки профиля у заднего конца;

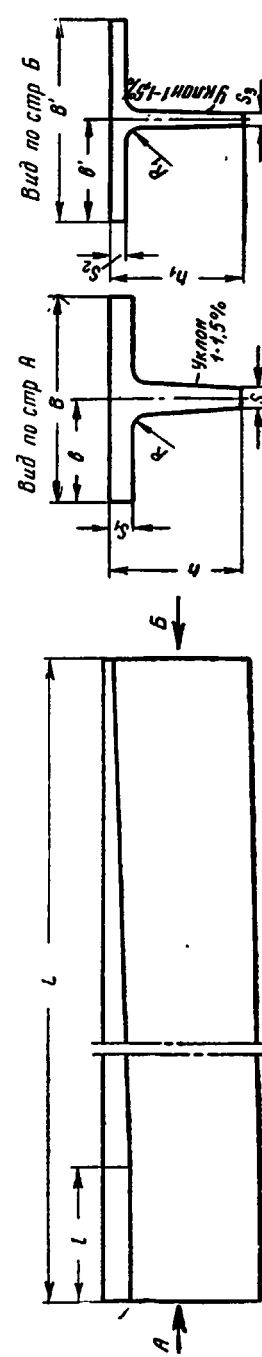
$\operatorname{tg} \beta_n$ — тангенс угла наклона клина по толщине полки.

Аналогичные расчеты по геометрическим соотношениям процесса прокатки-волочения могут быть выполнены также и для четырехвалковой клетки.

Технологический процесс прокатки-волочения тавровых профилей переменного сечения из стали 30ХГСА складывается из

Сортамент профилей переменного сечения из стали 30ХГСА, получаемых прокаткой-волочением

Номер профиля	L	l	B	B'	b	b'	k	k'
1	4270 $\pm$ 5,0	—	70 $\pm$ 1,0	40 $\pm$ 1,0	35 $\pm$ 0,5	20 $\pm$ 0,5	44 $\pm$ 1,0	30 $\pm$ 0,4
2	1352 $\pm$ 5,0	270 $\pm$ 3,0	56 $\pm$ 2,5	—	28 $\pm$ 2,5	—	38 $\pm$ 1,5	36 $\pm$ 1
3	1386 $\pm$ 5,0	270 $\pm$ 3,0	56 $\pm$ 2,5	—	28 $\pm$ 2,5	—	38 $\pm$ 1,5	35 $\pm$ 0,5
4	1438 $\pm$ 5,0	270 $\pm$ 3,0	56 $\pm$ 2,5	—	28 $\pm$ 2,5	—	38 $\pm$ 1,5	36 $\pm$ 1
Номер профиля	S	S ₁	S ₂		S ₃		R	R ₁
1	6 $\pm$ 0,4	7,5 $\pm$ 0,4	25 $\pm$ 0,4	—	2 $\pm$ 0,4	—	3 $\pm$ 0,1	3 $\pm$ 0,1
2	4 $\pm$ 0,15	3,5 $\pm$ 0,15	1,5 $\pm$ 0,15	—	2 $\pm$ 0,15	—	3,5	—
3	4 $\pm$ 0,15	3,5 $\pm$ 0,16	1,5 $\pm$ 0,15	—	2 $\pm$ 0,15	—	3,5	—
4	4 $\pm$ 0,15	3,5 $\pm$ 0,15	1,5 $\pm$ 0,15	—	2 $\pm$ 0,15	—	3,5	—



следующих операций: 1) травление горячекатаной заготовки; 2) очистка поверхности заготовки от наружных пороков, выявляемых после травления; 3) отжиг заготовки в печах с безокислительной атмосферой; 4) калибровка заготовки четырехкратной длины на прокатно-волочильной установке в трех-валковой клети до требуемого исходного постоянного сечения с обжатием 10—15% за проход; 5) резка калиброванной заготовки на мерную длину; 6) отжиг заготовки в печах с безокислительной атмосферой; 7) прокатка-волочение калиброванной заготовки на переменное сечение в трехвалковой клети до требуемого окончательного размера с обжатием в 20—25% за проход; 8) отжиг тавровых профилей переменного сечения в печах с безокислительной атмосферой; 9) правка профилей на ролико-правильной машине и с помощью эксцентрикового пресса и 10) механические испытания, проверка величины обезуглероженого слоя и контроль размеров и качества наружной поверхности профилей.

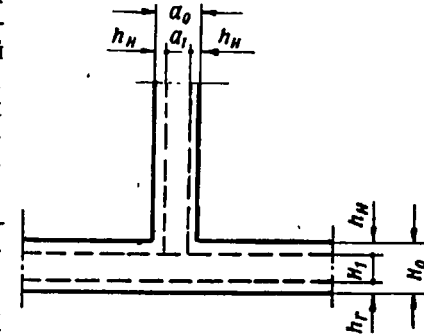


Рис 114. Схема деформации элементов профиля

Средняя производительность установки при прокатке-волочении тавровых профилей переменного сечения из стали 30ХГСА длиной до 4 м в 3-валковой клети, в соответствии с вышеизложенным технологическим процессом, примерно 200 м профиля за смену, при скорости волочения 5 м/мин. Одна прокатно-волочильная установка заменяет по своей производительности более 15 металлорежущих станков, занятых переработкой профилей постоянного сечения на профили переменного сечения. При этом достигается около 30% экономии металла, который при механической обработке снимался в стружку. Кроме того, в два раза снижается трудоемкость изготовления данной детали.

В табл. 21 приводятся некоторые типовые тавровые профили переменного сечения из стали 30ХГСА.

ПОПЕРЕЧНАЯ ПРОКАТКА ПРОФИЛЕЙ ПЕРИОДИЧЕСКОГО СЕЧЕНИЯ

Глава I

ПРОКАТКА ПЕРИОДИЧЕСКИХ ПРОФИЛЕЙ КРУГЛОГО СЕЧЕНИЯ

1. ПРОЦЕСС ПРОКАТКИ ПЕРИОДИЧЕСКИХ ПРОФИЛЕЙ НА ТРЕХВАЛКОВОМ СТАНЕ

Одним из наиболее экономичных методов уменьшения стоимости детали в машиностроении является изготовление ее из такой заготовки, которая обеспечит минимальную обработку на металлорежущих станках. Даже незначительное уменьшение отходов при обработке отдельной заготовки может дать большую экономию металла, снизить себестоимость и увеличить выпуск изделий. В то же время заготовка должна быть получена производительным и дешевым способом. Таким способом, наиболее отвечающим этим требованиям, является прокатка, по сравнению с ковкой или же другими существующими в промышленности технологическими процессами.

Для производства круглых заготовок переменного сечения разработаны новые прогрессивные технологические процессы поперечно-винтовой прокатки¹. Круглые периодические профили сравнительно большой длины прокатывают на трехвалковых станах, постепенно сближая и раздвигая валки по копиру, в соответствии с заданным профилем периодического проката. Преимуществом поперечно-винтовой прокатки круглых периодических профилей по сравнению с продольной прокаткой таких же профилей является отсутствие облоя, высокая точность размеров и прямолинейность заготовок. Это позволяет резко сократить припуск на дальнейшую механическую обработку деталей. При поперечно-винтовой прокатке — более универсальном способе, чем продольная прокатка, перестройка стана с одного профиля на другой осуществляется очень быстро и обычно без смены валков.

В основу процесса поперечно-винтовой прокатки круглых периодических профилей переменного сечения положены следующие

¹ Новый технологический процесс и станы поперечно-винтовой прокатки предложены и впервые разработаны и освоены во ВНИИМЕТМАШ под руководством чл.-корр. АН СССР А. И. Целикова.

щие принципы: 1) создание схемы деформации заготовки поперечными силами, приложенными со стороны трех валков, с изменением величины обжатия (по заданному закону) и принудительным натяжением изделия в процессе прокатки; 2) винтовое движение прокатываемой детали, которое достигается в клети стана перекосом валков под определенным углом относительно оси заготовки и 3) обеспечение непрерывности процесса обработки за счет вращательно-поступательного движения заготовки.

Исходя из этих основных принципов, данный технологический процесс получил наименование процесса поперечно-винтовой прокатки, а новые агрегаты названы непрерывными трехвалковыми станами периодического проката.

В работах, проведенных во ВНИИМЕТМАШ под руководством чл.-корр. АН СССР А. И. Целикова, исследованы факторы, которые влияют на вытяжку металла в осевом направлении и затрудняют поперечную (тангенциальную) раскатку (при поперечно-винтовой прокатке) сплошных тел периодического профиля. Этими работами доказано, что:

1) применение внешнего осевого натяжения заготовки облегчает деформацию заготовки в направлении ее оси, и при соответствующих величинах дополнительных усилий натяжения поперечная прокатка может осуществляться без образования полости;

2) с увеличением количества рабочих валков схема механизма деформации приближается к схеме приложения сил по кольцу; выбор трехвалковой схемы обжатия обусловливается величиной обжатия при прокатке (валки в данном случае располагаются близко к центру заготовки);

3) уменьшение длины бочки рабочего валка увеличивает сопротивляемость поперечной деформации объемов металла, смещаемых в процессе прокатки. Однако при очень малой контактной поверхности возможно нарушение сцепления смещаемого валками объема металла с основной массой заготовки и в результате его отслоение на поверхности.

Кроме влияния на ход процесса прокатки величины и формы очага деформации, величины и направления приложенного осевого усилия и количества рабочих валков, существенное значение имеют скорость деформации, угол наклона валка к оси прокатки, а также температура прокатки.

Коллективом сотрудников ВНИИМЕТМАШ предложена схема поперечно-винтовой прокатки периодических профилей, сущность которой заключается в следующем: три рабочих валка приводятся во вращение через универсальные шпиндели и прокатывают находящуюся между ними заготовку. Одновременно заготовка перемещается в направлении ее оси, так что зону деформации проходят последовательно все сечения прокатываемой заготовки. Нажимные механизмы во время прокатки меняют поло-

13*

жение рабочих валков, симметрично приближая и удаляя их от оси изделия. Таким образом, конфигурация прокатываемого профиля определяется режимом работы двигателей нажимного устройства. Этот режим задается в зависимости от длины выходящего из валков конца заготовки. Изменением режима работы нажимных механизмов может быть достигнута прокатка на одном и том же стане и теми же рабочими валками периодических профилей различной конфигурации.

Описанная схема представляет собой новый способ прокатки периодических профилей, имеющий ряд преимуществ по сравнению с другими известными способами периодической прокатки. К этим преимуществам следует отнести возможность прокатки периодических профилей простыми по форме рабочими валками, возможность получать периодический прокат со значительными обжатиями, универсальность стана и инструмента для различного сортамента проката. Описанная схема разрешает проблему периодической прокатки различных заготовок, имеющих форму тел вращения с переменным диаметром по длине.

Исследования, проведенные во ВНИИМЕТМАШ¹, позволили создать оригинальную конструкцию опытного стана для поперечно-винтовой прокатки периодических профилей и внедрить в промышленность этот новый процесс.

Прокатка периодического профиля на стане производится по схеме, приведенной на рис. 115, а и б.

Три приводных рабочих валка 1, вращаясь каждый по часовой стрелке, прокатывают заготовку 2. Последняя перемещается в осевом направлении. Во время прокатки рабочие валки то приближаются к оси изделия, то удаляются от нее, вследствие чего выходящая из валков заготовка получает переменный диаметр по длине. Оси рабочих валков установлены под небольшим углом по отношению к оси прокатки, так что окружная скорость на поверхности рабочих валков, соприкасающихся с заготовкой, имеет составляющую, направленную вдоль оси прокатки, подобно тому, как это происходит, например, в прошивных станах трубопрокатных агрегатов.

Режим работы гидравлических нажимных устройств задается сменной копировальной линейкой с помощью специального следящего устройства. Для того чтобы перейти от прокатки изделия одного профиля к прокатке изделия другого профиля, достаточно сменить копировальную линейку.

Заготовка прокатывается при наличии значительного осевого натяжения, без которого поперечно-винтовая прокатка периодических профилей сплошного сечения на трехвалковом стане не-

возможна. Осевое натяжение создается гидравлическим цилиндром через свободно вращающийся зажим, захватывающий передний конец заготовки. Натяжное устройство перемещает также и копировальную линейку. Величина усилия натяжения, создаваемого гидравлическим цилиндром, регулируется так же, как и осевая скорость выхода заготовки из валков.

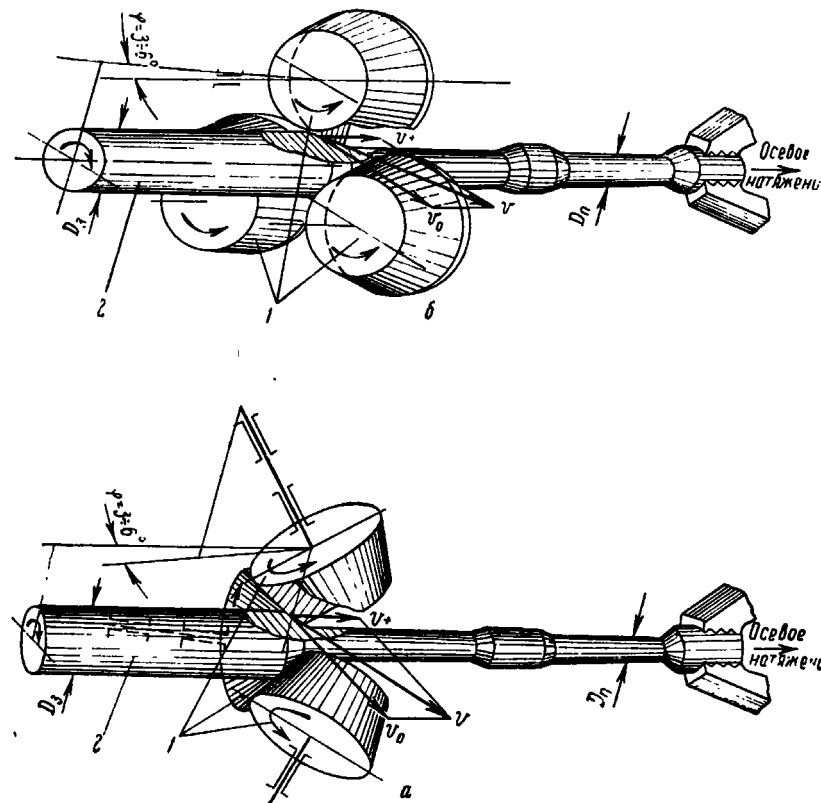


Рис. 115. Схема поперечно-винтовой прокатки:
а — с помощью конусных валков; б — с помощью дисковых валков

Прокатка может быть осуществлена дисковыми рабочими валками (рис. 115, б) или конусными рабочими валками, дающими максимальное обжатие по диаметру 1,5—1,6 (рис. 115, а). Последние имеют ряд технологических преимуществ (допускают обжатие по диаметру до 2, расширяют сортамент профилей, прокатываемых на одном и том же стане, позволяют прокатывать изделия малого диаметра, уменьшают в несколько раз крутящий момент прокатки, обеспечивают наименьшее скольжение по кон-

¹ А. И. Целиков, Е. И. Левин, Г. А. Лившиц, В. П. Анисифоров и И. И. Казанская. Авторские свидетельства № 84905 и 89339.

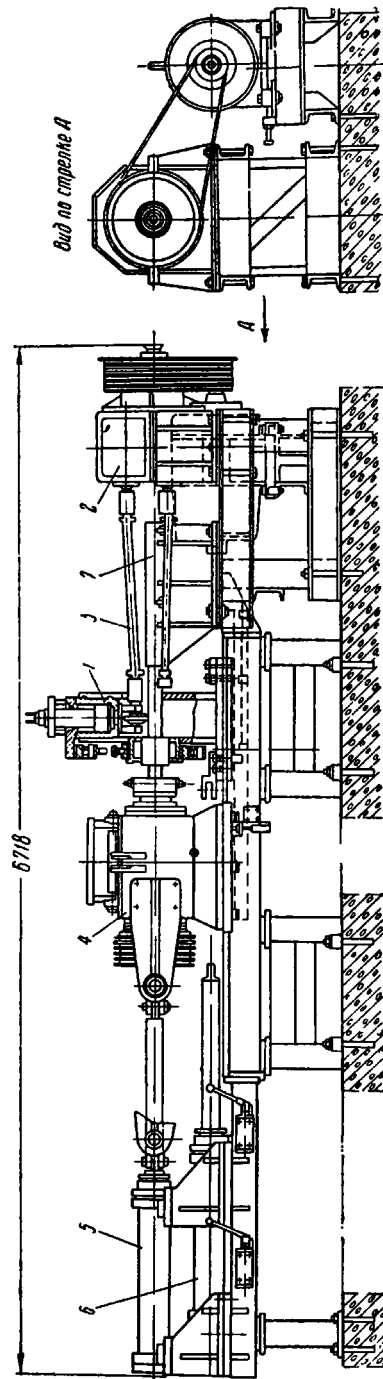


Рис. 116. Общий вид трехвалкового стана периодической прокатки

тактной поверхности металла с валками, но усложняют конструкцию привода рабочих валков и схему управления главным двигателем стана).

На рис. 116 показан один из трехвалковых станом периодической прокатки, на котором осуществлен новый технологический процесс.

На сварной станине установлена рабочая клеть 1, в которой под углом 120° расположены три рабочих валка с короткой бочкой. Валки приводятся во вращение шпинделями 3 от шестеренной клетки 2. На валу ведущей шестерни шестеренной клетки имеется шкив, связанный клиновидными ремнями со шкивом на валу электродвигателя постоянного тока мощностью 32 кВт, с регулируемым числом оборотов в пределах 750—1200 об/мин.

Нагретая заготовка задается через проводку 7, проходящую через полый вал ведущей шестерни шестеренной клетки, пропускается между рабочими валками и закрепляется во вращающемся зажиме подвижного корпуса 4. Последний получает поступательное перемещение от штока одного из двух гидравлических цилиндров осевого натяжения 5 и 6. Цилиндр 5 обеспечивает регулируемое усилие на штоке, а цилиндр 6 осуществляет постоянную скорость выхода проката из валков. Таким образом, применение того или иного цилиндра натяжения позволяет вести прокатку на стане с различными величинами натяжения.

К подвижному корпусу 4 зажима прикреплена копировальная линейка, управляющая через специальное следящее устройство работой гидравлических нажимных механизмов рабочих валков. Рабочие валки, вращаясь, приводят во вращение заготовку и обжимают ее. Подвижной корпус зажима, перемещающийся вдоль направляющих, создает нужное усилие натяжения в заготовке и через копировальную линейку управляет положением рабочих валков, благодаря чему получается заданный профиль проката. Перемещения всех трех рабочих валков относительно оси прокатки строго симметричны, что достигается специальной рычажной системой.

В рабочую клеть стана могут монтироваться рабочие валки двух типов: дисковые и конусные. Конструкция узла подушек дисковых валков обычная; конусные валки имеют более сложные подушки с шестеренной передачей внутри каждой подушки. Подушки рабочих валков опираются на три гидравлических цилиндра, выполняющих функции нажимных механизмов.

Гидравлические цилиндры нажимных механизмов рабочих валков, цилиндр натяжения заготовки и гидравлические аппараты управления питаются от общей гидросистемы, принципиальная схема которой показана на рис. 117.

Управление гидросистемой автоматизировано. Установленное рабочее давление масла поддерживается постоянным. Питание си-

стемы производится масляным лопастным двухцилиндровым насосом.

Трехвалковый стан периодической прокатки, как указывалось выше, предназначен для получения изделий, имеющих форму тел

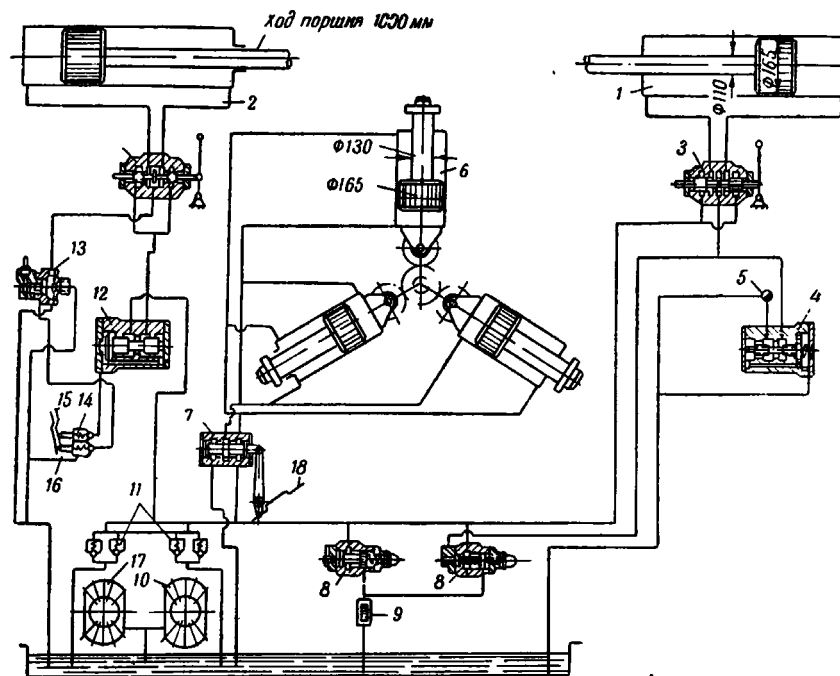


Рис. 117. Принципиальная схема гидропривода рабочих валков стана поперечно-винтовой прокатки:

1, 2 — цилиндры осевого натяжения заготовки; 3 — реверсивный золотник; 4 — регулятор скорости; 5 — дроссель; 6 — цилиндры нажимных механизмов; 7 — следящий клапан профиля; 8 — предохранительный клапан давления; 9 — фильтр сетчатый; 10 — насос; 11 — обратный клапан; 12 — регулятор давления; 13 — клапан; 14 — клапан-регулятор; 15, 16 — копиры для автоматического регулирования натяжения заготовки; 17 — насос; 18 — копировальная линейка

вращения с переменным диаметром по длине. Исходной заготовкой для прокатки периодических профилей сплошного сечения служит обычный круглый прокат, диаметр которого не должен быть меньше, чем наибольший диаметр получаемого профиля. На трехвалковом стане поперечной винтовой прокатки могут быть прокатаны также полые периодические профили в виде тел вращения с переменными по длине диаметром и толщиной стенки. В этом случае исходной заготовкой служит полая гильза (труба).

Заготовки могут быть любой формы, образованной из соосно

расположенных цилиндрических, конических и сферических поверхностей. Образующие этих поверхностей наклонены к оси прокатки под углом φ (рис. 118). По данным Г. А. Лившица на станах поперечно-винтовой прокатки можно прокатывать изделия, у которых угол образующей находится в пределах $+20^\circ \geq \varphi > -45^\circ$ (положительным указан наклон образующей в сторону выхода металла из валков). При этом отношение наибольшего диаметра изделия к наименьшему не должно превы-

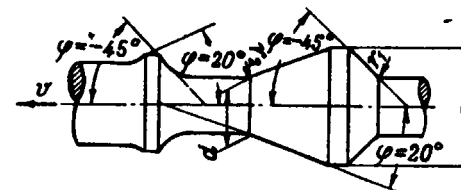


Рис. 118. Характеристики периодического профиля, прокатываемого на трехвалковом стане

шать 2 : 1, т. е. обжатие $\frac{D}{d} \leq 2$. В некоторых случаях предельные значения углов φ или обжатий могут быть несколько увеличены.

Отклонения размеров проката от заданных (при налаженной технологии) находятся в пределах: по диаметру (на цилиндрических участках) $\pm 1,0\%$, по длине — менее $\pm 0,5\%$. Указанная точность прокатки может быть увеличена при условии повышения точности изготовления копировальной системы.

Металл заготовок, полученных прокаткой на трехвалковом стане, имеет повышенные пластические свойства. Опытами установлено, что ударная вязкость, предел усталости и угол закручивания прокатанного металла существенно возрастают. Статическая прочность металла (предел текучести и предел прочности) остается неизменной.

Для практической проверки качества изделий, прокатанных на трехвалковом стане, и для установления экономического эффекта от внедрения нового способа прокатки в промышленность во ВНИИМЕТМАШ был прокатан ряд заготовок деталей круглого сечения (заготовки полуосей заднего моста автомобиля, заготовки валов коробки передач автомобиля, валов электродвигателей и т. д.).

Обработка и испытание этих заготовок на соответствующих машиностроительных заводах полностью подтвердили преимущества поперечно-винтовой прокатки периодических профилей при прокатке заготовок деталей круглого поперечного сечения.

Прокатывали также заготовки, которые предназначались для последующей штамповки с целью получения деталей некруглого сечения. Эти заготовки (заготовки шатунов автомоторов и других деталей автомобиля) были затем отштампованы на молотах. Доказана реальная возможность повышения производительности сложного кузнечного оборудования при такого рода комбинированном процессе производства, несмотря на необ-

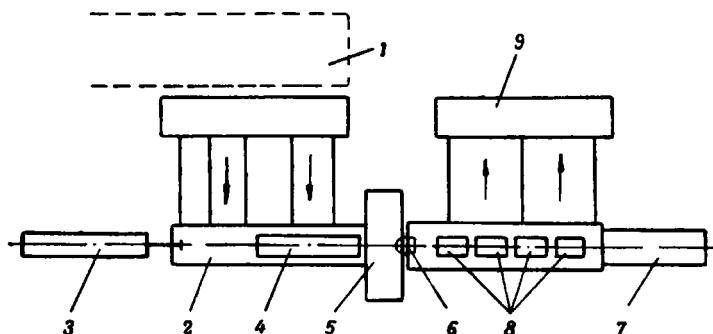


Рис. 119. Схема технологического процесса прокатки на трехвалковом стане

ходимость вторичного нагрева прокатанных заготовок перед их штамповкой.

Результаты проведенных опытов по прокатке заготовок, технико-экономические расчеты и анализ существующей в настоящее время технологии изготовления ряда деталей свидетельствуют о том, что внедрение поперечно-винтовой прокатки периодических профилей в различные области промышленности (автостроение, электромашиностроение, транспортное машиностроение и др.) приведет к значительному усовершенствованию технологии производства.

Трехвалковый стан периодической прокатки работает следующим образом (рис. 119).

Нагретая заготовка передается из печи 1 в приемный желоб 2. Толкателем 3 она подается через проводку 4 в рабочую клетку 5. Передний конец заготовки захватывается зажимом 6. После сближения рабочих валков начинают прокатку. Натяжное устройство 7 сообщает продольное перемещение заготовке и копирующей линейке и создает в прокатываемой заготовке необходимое натяжение. По мере выхода заготовки (прокатанной по профилю, заданному копирующей линейкой) из рабочей клетки качающиеся желоба 8 подходят к оси прокатки и поддерживают (направляют) выходящий конец изделия.

После прокатки заготовка освобождается из патрона, качающиеся желоба отходят от оси прокатки, а прокатанное изделие убирается в карман 9. Натяжное устройство возвращает зажимной патрон в исходное положение.

Для осуществления поперечно-винтовой прокатки периодических профилей рабочие органы трехвалкового стана должны отвечать следующим основным требованиям.

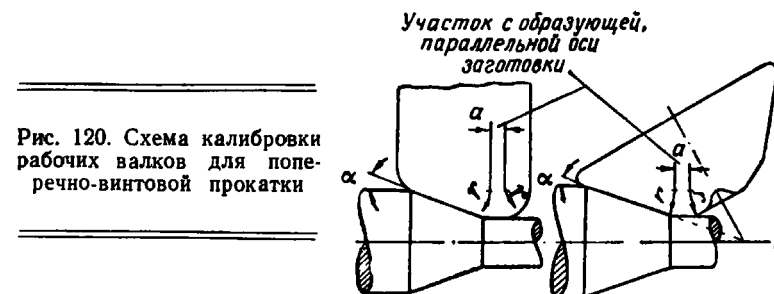


Рис. 120. Схема калибровки рабочих валков для поперечно-винтовой прокатки

Тип рабочих валков стана (конусные или дисковые) определяют в зависимости от сортамента, который должен прокатываться на стане. Если предполагаемый сортмент разнообразен по диаметрам исходных заготовок и включает изделия, требующие обжатия по диаметру больше 1,5, следует применять конусные рабочие валки. Конусные рабочие валки являются необходимыми также во всех случаях прокатки профилей малого диаметра (менее 20 мм).

Дисковые рабочие валки можно применять для прокатки периодических профилей круглого сечения с обжатием по диаметру меньше 1,5 и с небольшими колебаниями в размерах исходных заготовок.

Калибровка рабочих валков должна строиться так, чтобы образующая катающей поверхности вала составляла с осью заготовки угол $\alpha = 20^\circ$ (рис. 120). В некоторых случаях при незначительных обжатиях ($\xi < 1,3$) возможно увеличение угла α до 30° .

Калибрующий участок катающего профиля должен иметь такую длину, чтобы удовлетворялось неравенство:

$$3an > v,$$

где a — длина калибрующего участка, мм;

n — число оборотов заготовки в секунду;

v — осевая скорость выхода металла из валков, мм/сек.

Если указанное выше неравенство не будет соблюдено, то на поверхности заготовки возможно образование винтовой треххвостовой канавки.

Радиусы закруглений r следует делать по возможности большими и не менее 4—6 мм (в зависимости от диаметра прокатываемого сечения и скорости выхода металла из валков).

Для конусных рабочих валков угол ψ наклона оси валка к оси прокатки должен быть таким, чтобы ось валка, ось заготовки и общая образующая валка и заготовки при наибольшем обжатии пересекались в одной точке (точка A на рис. 120).

Рабочие валки должны иметь регулируемый угол наклона к оси прокатки (подобно тому, как это делается на прошивных станах трубопрокатных агрегатов) в пределах $\gamma = 0 \div 10^\circ$.

При заданной осевой скорости выхода металла из валков угол γ и величина осевого натяжения заготовки связаны обратной зависимостью. Ввиду того что величина осевого натяжения заготовки при прокатке на трехвалковом стане определяет качество изделия, конструкция подушек рабочих валков должна обеспечивать удобную и точную регулировку этого угла.

Усилие осевого натяжения должно автоматически поддерживаться приблизительно постоянным при прокатке.

Осевая скорость выхода металла из валков является переменной, но должна иметь регулируемый верхний предел.

Зажимной патрон натяжного устройства должен иметь по возможности малый маховой момент и малый момент статического сопротивления при вращении. В противном случае возможно скручивание заготовки при прокатке. Заготовка при прокатке должна возможно лучше центроваться как на входной, так и на выходной стороне стана. От качества центровки зависит качество поверхности прокатанного изделия и точность выполнения профиля по копиру.

Вращение рабочих валков может осуществляться от общего электродвигателя через шестеренную клетку и универсальные шпиндели или от индивидуальных электродвигателей для каждого рабочего валка. В последнем случае схема управления электродвигателями должна обеспечивать синхронизацию вращения рабочих валков. Привод рабочих валков (при конусных валках) должен иметь автоматическое регулирование скорости, что необходимо для прокатки заготовки с постоянным числом оборотов при переменных обжатиях.

2. ЭЛЕМЕНТЫ ТЕОРИИ ПРОЦЕССА ПОПЕРЕЧНО-ВИНТОВОЙ ПРОКАТКИ НА ТРЕХВАЛКОВОМ СТАНЕ¹

Процесс поперечно-винтовой прокатки широко применяется для производства гильз и труб из сплошной заготовки на современных трубопрокатных станах.

¹ При пользовании приведенными в настоящем разделе аналитическими зависимостями следует учесть, что многие расчетные формулы выведены

В течение длительного времени считалось общепризнанным, что этот метод прокатки пригоден только для образования полости и при обработке полых тел. В центральной части прокатываемого металла, несмотря на приложенные к нему внешние усилия сжатия, возникают растягивающие напряжения, которые и вызывают появление полости (рис. 121).

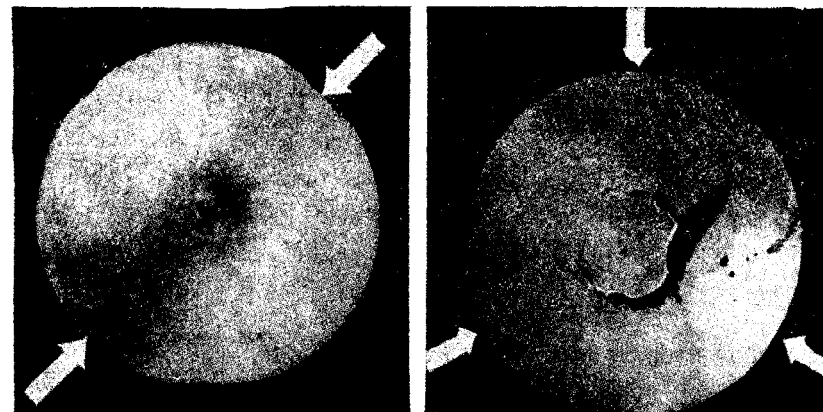


Рис. 121. Образование полости при поперечной прокатке

Исследования, проведенные во ВНИИМЕТМАШ¹, дали возможность найти условия, при которых появление указанных растягивающих напряжений может быть локализовано, что позволило применить процесс поперечно-винтовой прокатки для обработки сплошных круглых тел, приближающихся по форме и размерам к различным готовым деталям.

В результате изучения заготовок, подвергнутых поперечной прокатке и последующей рекристаллизации², установлено, что пластическая деформация заготовки при поперечной прокатке распространяется неравномерно по сечению: деформируется только периферийный слой металла, который раскатывается на сердцевине, как на оправке. Поперечная тангенциальная рас-

на основании ряда допущений, справедливость которых может быть подтверждена лишь в результате многочисленных экспериментов. Поэтому приведенными материалами следует оперировать лишь как ориентировочными, требующими подтверждения при экспериментальных исследованиях параметров поперечно-винтовой прокатки.

¹ Г. А. Лившиц, В. П. Анисифоров и др.

² На основании известной зависимости величины зерна стали после рекристаллизации от степени деформации металла.

катка периферийного слоя порождает тенденцию к увеличению его периметра. Вследствие этого возникают радиальные растягивающие напряжения во внутренних слоях заготовки, причем интенсивность этих напряжений по направлению к оси заготовки возрастает. Так как внутренние слои заготовки связаны с окружающим объемом недеформированного металла, истечение металла от центральной зоны к периферии затруднено. Поэтому

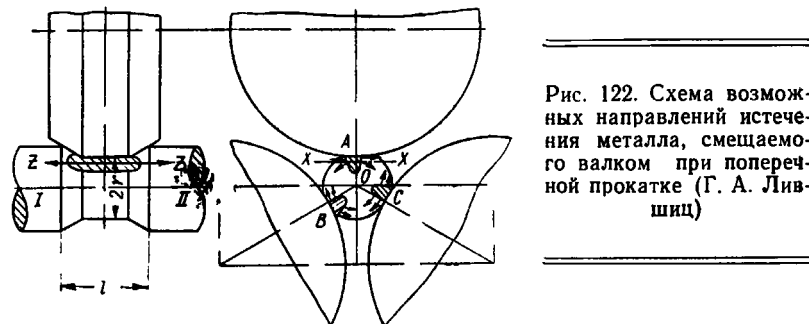


Рис. 122. Схема возможных направлений истечения металла, смещаемого валком при поперечной прокатке (Г. А. Лившиц)

первичные радиальные растягивающие напряжения в условиях затрудненной деформации металла осевой зоны вызывают вторичные тангенциальные и осевые растягивающие напряжения, препятствующие пластической деформации. Когда максимальное растягивающее напряжение, в данном случае радиальное, достигает предела хрупкой прочности металла, происходит разрыв структуры и образование полости в осевой зоне прокатываемой заготовки.

Таким образом, причиной вскрытия полости при поперечной прокатке является тангенциальная деформация (раскатка) периферийных слоев металла. Следовательно, чтобы осуществить поперечно-винтовую прокатку периодического профиля без внутренних дефектов в прокатываемом изделии, нужно создать такие условия деформации, при которых тангенциальное истечение периферийных слоев заготовки было бы практически исключено.

При поперечно-винтовой прокатке объем металла, обжимаемый в каждый данный момент рабочим валком, может в общем случае смещаться по трем направлениям (рис. 122):

- по направлению оси $X-X$ (поперечная раскатка);
- по направлению оси $Z-Z$ (в направлении оси заготовки);
- в радиальном направлении — к центру заготовки.

Смещение обжимаемого валком металла по направлению оси $X-X$ связано с деформацией объемов металла ABO , ACO и BCO в поперечном направлении. Каждый из этих объемов можно рассматривать приблизительно как балку с заделанными концами в участках заготовки I и II, находящихся вне зоны деформации.

Смещение обжимаемого валком металла в направлении оси $Z-Z$ связано с необходимостью растяжения заготовки по поперечному сечению. Смещение обжимаемого валком металла к центру заготовки (при условии несжимаемости металла) требует деформации заготовки в осевом или поперечном направлении (между валками). Направление преобладающего (из числа перечисленных) течения обжимаемого валком металла определяется той или иной степенью сопротивления деформации заготовки в тангенциальном и в осевом направлениях.

Если объемы металла ABO , ACO и BCO , находящиеся между валками и связанные с зонами I и II, обладают достаточной жесткостью в тангенциальном направлении, а вытяжка заготовки вдоль оси осуществляется легко, то обжимаемый валком металл будет смещаться в осевом и радиальном направлениях, и заготовка, уменьшаясь в диаметре, получит осевую вытяжку. В этом случае возможно изменение диаметра заготовки без образования полости при поперечно-винтовой прокатке. Напротив, если наименьшее сопротивление деформации окажется в тангенциальном направлении, а деформация вдоль оси заготовки затруднена, то истечение обжимаемого валками при поперечно-винтовой прокатке металла будет происходить в поперечном направлении, вызовет поперечную раскатку и сопутствующее ей разрыхление металла и вскрытие полости в осевой зоне заготовки.

Следовательно, для осуществления поперечно-винтовой прокатки периодических профилей должны быть созданы такие условия, при которых облегчается деформация в осевом направлении и затрудняется истечение металла в тангенциальном направлении.

Последнее может быть достигнуто:

- увеличением числа рабочих валков;
- уменьшением длины бочки рабочего валка, т. е. уменьшением длины l (рис. 122), чем увеличивается сопротивляемость объемов ABO , ACO , BCO поперечной деформации.

Облегчение деформации (вытяжки) заготовки в осевом направлении достигается применением внешнего осевого растяжения заготовки.

Для применения первых двух указанных факторов, которые могут быть использованы для осуществления поперечно-винтовой прокатки без образования полости в прокатываемой заготовке, имеются следующие ограничения.

1. С увеличением числа рабочих валков уменьшается возможность получения больших обжатий (валки мешают друг другу приблизиться к центру заготовки) и усложняется конструкция стана. Поэтому применение более трех рабочих валков на стане поперечно-винтовой прокатки периодических профилей

практически затруднено. Применение многовалкового стана поперечно-винтовой прокатки может оказаться необходимым при прокатке крупных сечений со сравнительно небольшими обжатиями, например заготовок осей железнодорожных вагонов.

2. При очень малой длине бочки рабочего вала l нарушается сцепление смещаемого валком объема металла с основной массой заготовки, вследствие чего на поверхности заготовки металл отслаивается в виде чешуи. Кроме того, условия калибровки валков не позволяют неограниченно уменьшать длину образующей вала.

Наиболее эффективным средством управления процессом деформации при поперечно-винтовой прокатке, которое исключает образование внутренней полости в изделии, является осевое натяжение заготовки при прокатке. Натяжение может быть доведено до величины, обеспечивающей интенсивное истечение смещаемого валками металла в осевом направлении. Подобрать соответствующую величину усилия осевого натяжения, можно осуществить поперечно-винтовую прокатку, сопровождающуюся вытяжкой заготовки в осевом направлении, практически без поперечной раскатки металла и, следовательно, без образования внутренней полости в заготовке.

При прокатке периодических профилей на трехвалковом стане можно с достаточным приближением считать, что любое сечение заготовки, перемещаясь в зоне деформации, уменьшается в диаметре, оставаясь круглым и концентричным. Относительная тангенциальная деформация заготовки в этом случае равна относительной радиальной деформации, поэтому можно принять, что $\sigma_r = \sigma_\tau$.

Прокатываемая заготовка вращается с большим числом оборотов (600—1000 об/мин) и за один оборот каждая образующая конуса деформации трижды (при прокатке тремя валками) нагружается нормальным давлением q_r и соответствующей силой трения.

Как показали опыты, проведенные Г. А. Лившицем, оптимальное значение угла α (рис. 120), близко к 20° , а среднее значение величины коэффициента μ_s обычно находится в пределах 0,2—0,25. В некоторых случаях коэффициент μ_s может принимать значения, близкие к нулю (когда равнодействующая удельных сил трения перпендикулярна оси заготовки), и даже отрицательные значения (когда проекция равнодействующей сил трения на ось заготовки направлена к входному сечению конуса деформации, что может иметь место при малых обжатиях).

На рис. 123 приведены кривые функции q_r для $\alpha = 20^\circ$, $\sigma_s = 5 \text{ кг/мм}^2$ при различных значениях μ_s . Все значения функций q_r представляют собой почти прямые линии.

Все семейство функций q_r можно представить одним приближенным уравнением

$$q_r = 3,7\sigma_s \left(r - \frac{r_0}{2} \right). \quad (90)$$

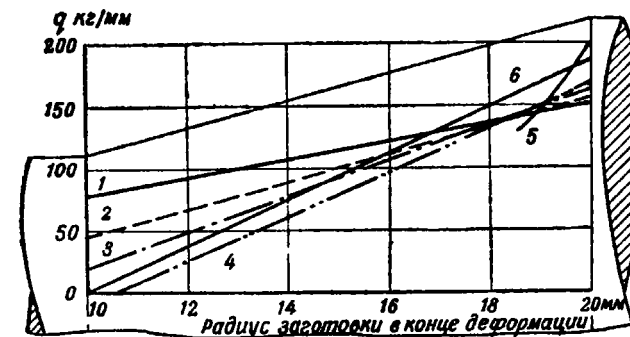


Рис. 123. Интенсивность давления металла на рабочий валок в кг/мм длины контактной поверхности:

1 — $\mu_s = 0,364$; 2 — $\mu_s = 0,25$; 3 — $\mu_s = 0,2$; 4 — $\mu_s = 0,1$; 5 — $\mu_s = 0,4$; 6 — прямая, полученная по формуле (94)

Скорость деформации неодинакова в различных сечениях зоны деформации, увеличиваясь к выходному сечению. Средняя величина скорости деформации u_{cp} для участков с постоянным обжатием может быть подсчитана по уравнению

$$u_{cp} = \frac{16v \operatorname{tg} \alpha}{r_0} \cdot \frac{\xi}{(1 + \xi)^3} \cdot \frac{1}{\text{сек}}, \quad (91)$$

где v — осевая скорость выхода металла из валков, мм/сек;

r_0 — исходный радиус заготовки, мм;

ξ — относительное обжатие по диаметру: $\xi = \frac{r_0}{r_1}$ (r_0 — радиус исходной заготовки, r_1 — радиус выходного сечения прокатываемой заготовки).

На основании опытных данных о зависимости сопротивления металла деформации от скорости деформации и учитывая, что в рассматриваемом процессе скорость деформации находится в пределах 0,1—10 1/сек, для прокатки стали при температурах 900—1200° величина сопротивления металла деформации может быть подсчитана по формуле

$$\sigma_s = \sigma_{s_0} (1 + 0,5 \lg u_{cp}), \quad (92)$$

где σ_s — сопротивление металла деформации при скорости деформации u ;

σ_{s_0} — сопротивление металла деформации при скорости деформации $u_0 \approx 1/\text{сек}$ и при данной температуре прокатки.

Чтобы обеспечить получение изделий с удовлетворительной поверхностью и без внутренней полости, усилие осевого натяжения должно создавать в сечении исходной заготовки условное напряжение

$$\sigma = \frac{S}{\pi r_0^2} \geq (0,15 + 0,25) \sigma_s. \quad (93)$$

При этом величина натяжения ограничивается прочностью наиболее обжатого сечения заготовки:

$$S < \pi \left(\frac{r_0}{\xi} \right)^2 \sigma_{s_0}. \quad (94)$$

Отсюда следует, что значения усилия натяжения, при которых осуществляется нормальный процесс поперечно-винтовой прокатки, должны находиться в пределах

$$0,2 \sigma_s \pi r_0^2 < S < \pi \frac{r_0^2}{\xi^2} \sigma_{s_0}. \quad (95)$$

Исследования В. П. Анисифорова и И. И. Казанской, показали, что если в процессе прокатки оставить неизменными обжатие, температуру прокатки и угол наклона валков, то натяжение будет зависеть от скорости выхода металла из зоны деформации и числа оборотов заготовки. С увеличением натяжения скорость выхода металла из валков возрастает. С другой стороны, чем меньше число оборотов заготовки, тем больше натяжение. Кроме того, опытные данные свидетельствуют о том, что при изменении угла наклона валков от 0,07 до 0,10 радиан натяжение уменьшается в 2—2,3 раза. С ростом температуры прокатки величина натяжения заметно уменьшается. При этом, чем ниже температура прокатки, тем быстрее увеличивается натяжение с увеличением скорости прокатки, особенно при малых скоростях. С увеличением диаметра обжатия усилие натяжения возрастает.

С увеличением шага подачи, числа оборотов валков, коэффициента обжатия и с уменьшением температуры прокатываемого металла мощность прокатки возрастает. С увеличением шага подачи и уменьшением температуры прокатки момент прокатки увеличивается (рис. 124 и 124, а).

Момент и мощность прокатки возрастают примерно пропорционально диаметру прокатываемой заготовки.

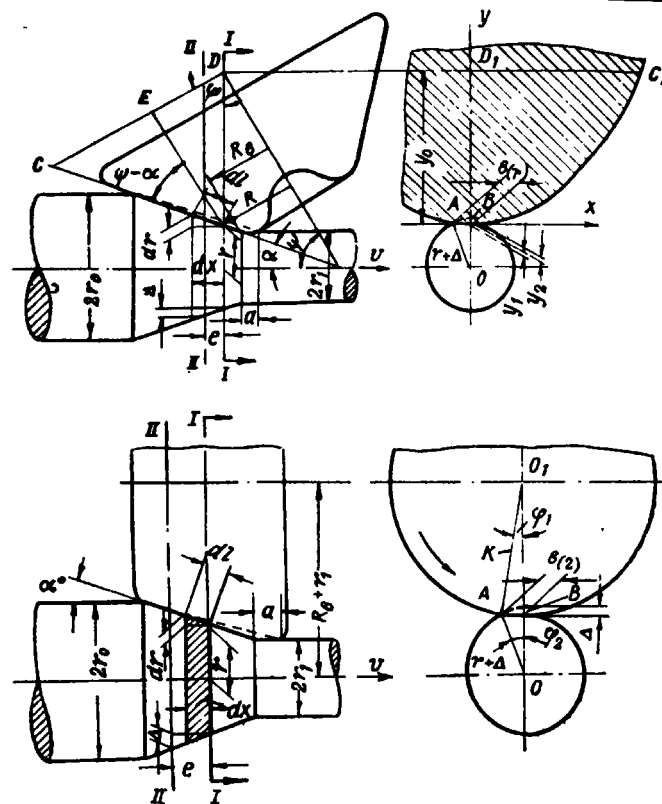


Рис. 124. Схема определения периода соприкосновения металла с конусным и с дисковым рабочими валками (Г. А. Лившиц)

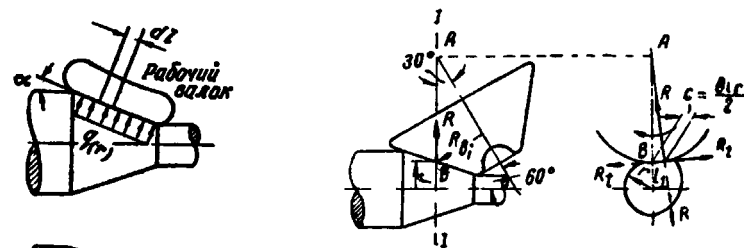


Рис. 124, а. Схема определения крутящего момента прокатки на оси дискового и конусного рабочих валков (Г. А. Лившиц)

Удельный расход энергии уменьшается с увеличением скорости прокатки и уменьшением числа оборотов заготовки. Следовательно, для уменьшения удельного расхода энергии прокатку нужно проводить с возможно большими скоростями. С ростом обжатия удельный расход энергии возрастает, а с увеличением температуры прокатки удельный расход энергии несколько понижается. С увеличением шага подачи увеличивается производительность стана и значительно уменьшается удельный расход энергии.

При прокатке дисковыми валками силы трения, приложенные к металлу, дают очень малую составляющую в направлении оси заготовки (вследствие больших тангенциальных скольжений между валком и металлом). Поэтому для уравнивания осевых составляющих нормальных сил необходимо применять большое осевое натяжение заготовки. Это обстоятельство не только усложняет и утяжеляет конструкцию натяжного механизма при прокатке дисковыми валками, но и ограничивает возможности процесса по обжатию.

Рекомендуются следующие значения верхних пределов обжатий:

$$\text{для дисковых валков } \xi = \frac{r_0}{r_1} \leq 1,6 \div 1,7; \quad (96)$$

$$\text{для конусных валков } \xi \leq 1,9 \div 2,1. \quad (97)$$

При попытках получения больших обжатий заготовка обрывается в выходном сечении или (при меньшем натяжении) процесс прокатки прекращается, а в осевой зоне заготовки обнаживается полость.

Верхние пределы обжатия несколько увеличиваются при резком охлаждении (струей воды) выходящего конца заготовки, чем повышается прочность на разрыв выходного сечения¹. Таким образом, можно получить обжатия: на конусных валках

$$\xi = \frac{r_0}{r_1} \leq 2,5 \text{ и на дисковых соответственно } \xi = \frac{r_0}{r_1} \leq 2.$$

Следовательно, конусными валками (по сравнению с дисковыми) достигается большее обжатие заготовки. Кроме того, для осуществления прокатки одной и той же детали дисковые валки требуют большего крутящего момента и мощности прокатки, чем конусные валки (при $\xi > 1,5$ в 4—6 раз). Применение дисковых валков требует большей установочной мощности привода, утяжеляет конструкцию стана, приводит к повышенному расходу энергии при прокатке. Конусные валки более универсальны по размерам заготовок, прокатываемых на одном ком-

¹ Впервые опытные работы по охлаждению участка полосы при выходе ее из зоны деформации, были проведены Э. Р. Шором и В. Ф. Калугиным при горячей прокатке — волочении тавровых профилей (Сталь, № 4, 1949).

плекте валков, и позволяют прокатывать изделия малого диаметра (6—10 мм), что дисковыми валками не удастся осуществить из-за возникающих в этом случае конструктивных препятствий.

С другой стороны, применение конусных валков связано с усложнением конструкции механической части привода для передачи вращения валкам с наклонной осью и схемы управления электроприводом, так как требуется автоматическое регулирование скорости приводного двигателя, при которой число оборотов заготовки при различных обжатиях сохранялось бы приблизительно постоянным¹.

С точки зрения технологических возможностей процесса, универсальности стана, эксплуатационной и установочной экономичности конусные валки имеют ряд преимуществ по сравнению с дисковыми, но применение конусных валков усложняет конструкцию рабочей клетки и привода стана. Применение дисковых валков целесообразно только на станах поперечно-винтовой прокатки специализированного назначения (для прокатки деталей при сравнительно небольших обжатиях и с малыми колебаниями исходных размеров прокатываемых на стане заготовок).

Осевая скорость выхода металла из валков определяет производительность процесса поперечно-винтовой прокатки периодических профилей.

С увеличением скорости выхода заготовки из валков возрастает скорость деформации металла в очаге деформации и, следовательно, возрастает величина требуемого осевого натяжения заготовки, необходимого для осуществления прокатки без образования полости. Чтобы передать возросшее натяжение через выходное сечение заготовки, последнее должно быть увеличено, т. е. предел наибольшего обжатия по диаметру должен быть снижен. С увеличением осевой скорости выхода металла из валков уменьшается возможная величина достигаемого обжатия.

Толщина обжимаемого валком в данный момент слоя металла Δ (рис. 125) ограничивается условием поперечного захвата заготовки валками. При очень больших величинах Δ возможно буксование заготовки в валках.

Величина Δ определяется равенством:

$$\Delta = \frac{v}{n_s} \cdot \frac{1}{m} \cdot \frac{r_0^2}{\xi^2 \cdot r^2} \cdot \operatorname{tg} \alpha, \quad (98)$$

где v — осевая скорость выхода металла из валков;

¹ Чтобы избежать инерционного момента, скручивающего заготовку при резких изменениях обжатия. У дисковых валков передаточное число не зависит от обжатия и инерционный крутящий момент практически не возникает. По данным В. А. Жаворонкова, поддержание постоянства скорости заготовки не является технологически необходимым.

- n_3 — скорость вращения заготовки;
 r_0 — исходный радиус заготовки;
 r — радиус заготовки в рассматриваемом сечении;
 ξ — обжатие по диаметру;
 α — угол образующей конуса деформации с осью заготовки;
 m — число рабочих валков ($m = 3$).

Из равенства (98) следует, что с увеличением скорости выхода металла из валков при ограниченном Δ нужно увеличивать скорость вращения заготовки при прокатке (n_3).

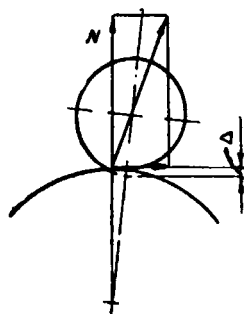


Рис. 125. Предельная толщина обжимаемого валком слоя металла по условию захвата заготовки в тангенциальном направлении (Г. А. Лившиц)

Как показали опытные работы, выполненные канд. техн. наук Г. А. Лившицем, прокатка заготовки со скоростью, превышающей 1000 об/мин, сопровождается значительным увеличением центробежных сил, сильными ударами заднего конца заготовки по проводке, вибрацией всего стана. Следствием этого является неудовлетворительное качество поверхности проката, невыполнение заданного профиля по копиру и т. д.

Указанная предельная скорость вращения заготовки при поперечно-винтовой прокатке относится к заготовкам с исходным диаметром 30—50 мм. При увеличении диаметра заготовки допустимая скорость вращения снижается; для заготовки меньшего диаметра скорость вращения заготовки может быть увеличена.

Таким образом, условия захвата и ограниченная скорость вращения заготовки при прокатке лимитируют величину осевой скорости выхода металла из валков при поперечно-винтовой прокатке периодических профилей на трехвалковом стане.

На опытном стане прокатывали периодические профили с осевой скоростью выхода металла из валков до 6,5 м/мин. При соответствующем конструктивном изменении некоторых узлов стана может быть достигнута скорость выхода металла из валков до 10—12 м/мин.

3. ПРОМЫШЛЕННЫЕ ТРЕХВАЛКОВЫЕ СТАНЫ ДЛЯ ПОПЕРЕЧНО-ВИНТОВОЙ ПРОКАТКИ КРУГЛЫХ ПЕРИОДИЧЕСКИХ ПРОФИЛЕЙ

Внедрение нового технологического процесса получения заготовок периодического профиля методом поперечно-винтовой прокатки дает большие технико-экономические преимущества, а именно: 1) значительно снижается удельный расход металла на тонну годного (до 25%); 2) упрощается технология изготовления сложных деталей кузнечного производства, а часть из них может быть переведена со штамповки непосредственно на прокатку (вагонные и вагонеточные оси, полуоси автомобиля и т. п.); 3) освобождается значительный парк металлорежущих станков, занятых изготовлением подобных деталей; 4) снижается себестоимость изделий и 5) повышается производительность труда (в 2—3 раза).

Возможность автоматизации процесса прокатки периодических профилей улучшит условия труда в горячих цехах и повысит культуру производства. Сравнительно простое и малогабаритное оборудование позволяет осуществлять на одном и том же стане прокатку заготовок в широком диапазоне размеров, а также обеспечивает быстрый переход с прокатки одного профиля на другой. К достоинствам поперечно-винтовой прокатки следует отнести и то, что инструмент стана, представляющий собой небольшие по размерам некалиброванные валки, значительно дешевле другого инструмента, например штампов и т. п., необходимого для изготовления такого рода изделий.

Габариты стана поперечно-винтовой прокатки определяются размерами прокатываемых на нем профилей.

Основными факторами, определяющими размер стана, являются диаметр исходных заготовок и наибольшая длина получаемых прокаткой изделий. Первые станы 10 и 70, сконструированные во ВНИИМЕТМАШ под руководством инж. Е. А. Стоша, получили свое наименование по наибольшим размерам прокатываемого профиля по диаметру (10 и 70 мм).

Конструктивное оформление станов как автоматических агрегатов в целом определяется: 1) назначением стана (специализированные агрегаты для прокатки массовых изделий — осей, шпинделей и др.); 2) размещением нагревательных устройств (в линии стана или параллельно оси прокатки); 3) способом удаления прокатанных заготовок из стана (цепные транспортеры, приемные столы и др.) и 4) размещением приводных электрических и гидравлических систем.

На каждом из станов можно прокатывать различные профили, входящие в сортament данного стана по диаметру и длине.

Трехвалковые станы в основном состоят из рабочей клетки, двигателя привода валков, передаточных механизмов для осу-

ществления вращения валков от двигателя, гидравлического привода механизма натяжения и рабочих цилиндров валков и вспомогательных механизмов.

В результате исследовательских работ, проводившихся во ВНИИМЕТМАШ на протяжении ряда лет, создан новый технологический процесс прокатки периодических профилей.

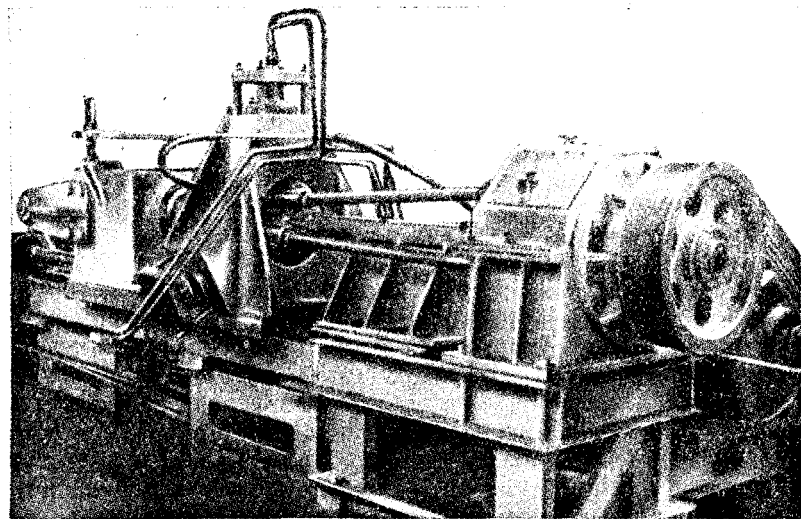


Рис. 126. Стан ЦКБММ-9 для поперечно-винтовой прокатки

Для осуществления этого технологического процесса спроектирован, построен и испытан в работе опытный стан оригинальной конструкции (тип ЦКБММ-9, рис. 126).

Стан ЦКБММ-9 осуществляет поперечно-винтовую прокатку нагретой заготовки тремя валками с короткой бочкой, расстояние между которыми изменяется в процессе прокатки. Таким образом валки формуют переменный профиль на заготовке круглого сечения.

Рабочие валки приводятся во вращение от электродвигателя через шестеренную клеть. Диаметр профиля в каждом сечении определяется положением рабочих валков, нажимные механизмы которых меняют их установку в процессе прокатки по заданной конфигурации изделия.

Изменение расстояния между валками соответствует профилю прокатываемого изделия, причем это изменение зависит только от неизменных размеров уже прокатанной части заготовки,

чем достигается точность размеров по всей длине проката и полностью устраняется влияние вытяжки на окончательные размеры изделия.

Опытный стан ЦКБММ-9 состоит из рабочей клетки с тремя валками, установленными под углом 120° друг к другу. Рабочие валки через универсальные шпиндели, шестеренную клеть — редуктор и клиноременную передачу получают вращение от электродвигателя мощностью 50 кВт. Заготовка подается в рабочую клетку по специальному направляющему желобу; передний конец заготовки захватывается зажимом, смонтированным в подвижном корпусе, причем последний передвигается по направляющим станины. Подшипники рабочих валков установлены на гидравлических цилиндрах, с помощью которых обеспечивается сближение или раздвижение рабочих валков во время прокатки.

Положение рабочих валков, а следовательно и профиль проката, определяется копировальной линейкой, которая прикреплена к подвижному корпусу зажима и, двигаясь вместе с прокатываемой заготовкой, автоматически определяет профиль детали путем воздействия на клапан управления гидравлическими цилиндрами нажимных механизмов.

Габариты стана: длина 7 м; ширина 1,5 м; высота 2,1 м. Вес 8 т. Стан имеет насосную установку производительностью 100 л масла в минуту.

Прокатка различных профилей производится одними и теми же валками; смена копировальной линейки, определяющей профиль прокатываемой детали, происходит в течение 5—10 мин.

На стане можно получать круглые сплошные периодические профили диаметром 18—55 мм, длиной до 1000 мм и полые периодические профили диаметром до 100 мм и длиной до 1000 мм. Максимальное обжатие по диаметру доходит до 60%, что соответствует уменьшению диаметра прокатываемого изделия в 2,5 раза, или по площади поперечного сечения заготовки за один проход в 6,25 раза.

При проведении исследований прокатка производилась двумя типами рабочих валков: а) конусными валками, форма и ось вращения которых определялись условием получения наименьшего тангенциального скольжения на поверхности контакта металла с валком; б) дисковыми валками, оси вращения которых почти параллельны оси прокатываемого изделия.

Валки первого типа позволяют получать большие обжатия (уменьшение площади поперечного сечения в 6,25 раза) и являются наилучшими для станков с разнообразным сортаментом продукции. Валки второго типа (дисковые) упрощают конструкцию стана и схему управления электроприводом, но ограничивают возможное максимальное обжатие (уменьшение площади

поперечного сечения не более чем в 3 раза). Сортамент профилей, прокатываемых этим станом с дисковыми валками, несколько

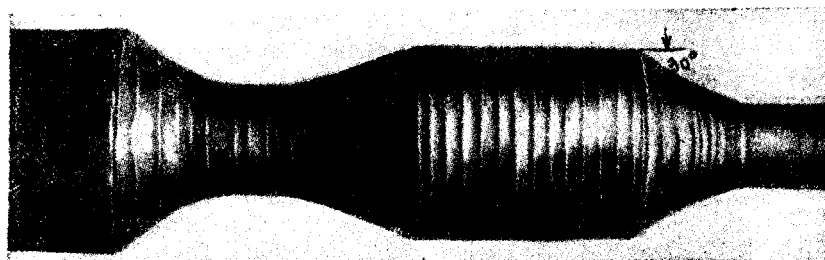


Рис. 127. Заготовка, изготовленная на стане ЦКБММ-9

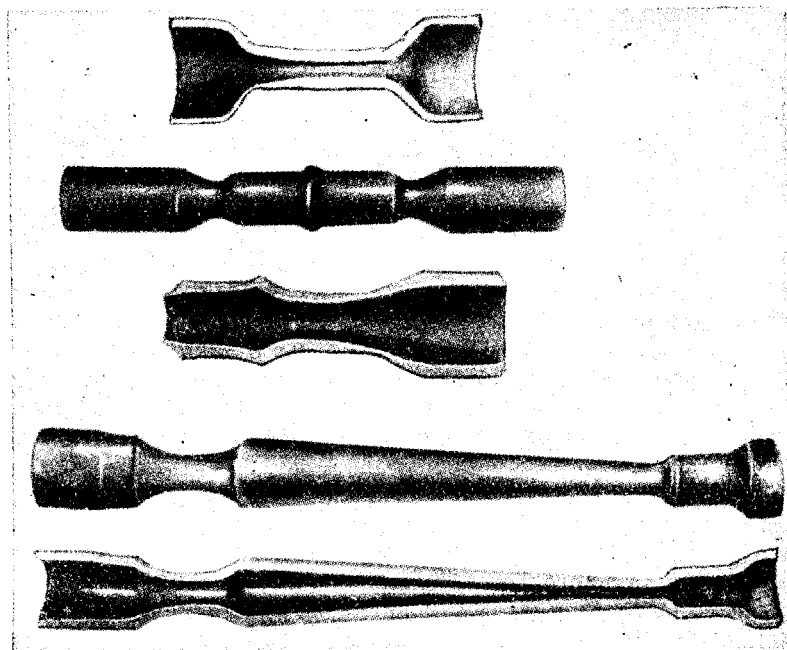


Рис. 128. Полые изделия, изготовленные на стане ЦКБММ-9

ко ограничен возможностью прокатки на нем профилей близких по размерам. Валки второго типа могут быть применены на специализированных станах, например для прокатки деталей, имею-

щих значительную длину при отсутствии резких переходов от большого сечения к малому или наоборот.

При освоении стана ЦКБММ-9 была прокатана партия шпинделей текстильных веретен, представляющих собой сложенные большими основаниями конуса, диаметром 10—11 мм в середине и 5—6 мм на концах при длине 300—325 мм. После испытаний шпинделей на заводе «Текстильмаш» (г. Коломна) было установлено, что можно отказаться от их токарной обработки и огра-

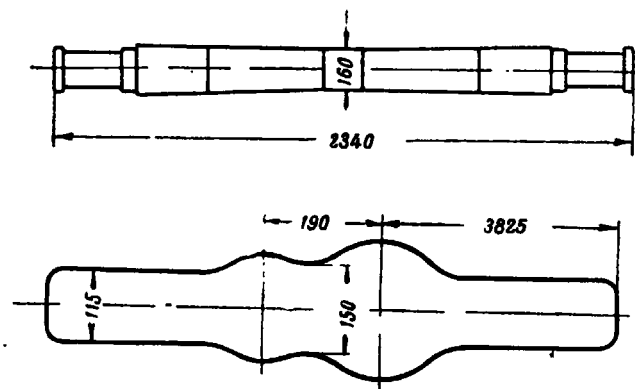


Рис. 129. Заготовки для деталей автомашины «Москвич»

ничиться только шлифовкой прокатанных заготовок. В дальнейшем для прокатки текстильных шпинделей был изготовлен специальный стан ЦКБММ-10.

На рис. 127 показана полученная на стане ЦКБММ-9 деталь, применяемая в автопромышленности, партии этих деталей успешно прошли нормальный заводской цикл обработки и установлены на автомашинах «Москвич», «Победа» и др. На рис. 128 показаны полые детали различной конфигурации, которые прокатаны на этом же стане.

Значительный интерес для многих отраслей машиностроения представляет прокатка периодических профилей с коническими участками, имеющие сравнительно большую длину при относительно малом диаметре. Примером таких деталей могут служить полуоси автомашин «Москвич», «Зим» и др. Эти детали изготавливаются в настоящее время штамповкой, для чего необходимы мощные механические прессы. Для высадки концов таких деталей применяют горизонтально-ковочные машины. При поперечно-винтовой прокатке значительно повышается производительность, улучшается качество и сокращается расход металла при изготовлении этих деталей.

На рис. 129 показаны заготовки автодеталей, полученные по-

перечно-винтовой прокаткой. Качество поверхности прокатанной полуоси лучше, чем у кованой. «Биение» по длине кованой оси, подвергнутой правке, достигает 3—4 мм, в то время как прокатанная полуось имеет величину «биения» 0,4—0,5 мм без правки. Следы удаленных заусенцев на штампованной полуоси весьма заметны и также ухудшают качество детали.

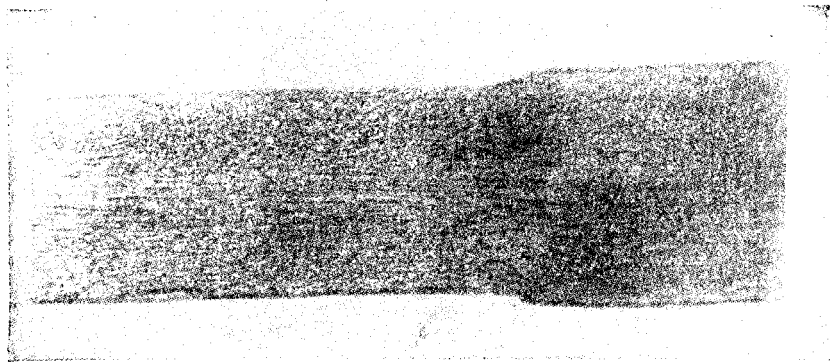


Рис. 130. Макрошлиф образца, прокатанного на стане ЦКБММ-9

Процесс поперечно-винтовой прокатки на стане ЦКБММ-9 с применением натяжения обеспечивает получение заготовок с хорошей структурой металла и высокими механическими свойствами. На рис. 130 показана макроструктура образца, прокатанного на стане ЦКБММ-9. Как видно из этой фотографии, деформация проникает в глубину профиля приблизительно на $\frac{1}{3}$ диаметра, что способствует значительному размельчению зерна.

Промышленный трехвалковый стан ЦКБММ-10 (рис. 131) предназначен для прокатки шпинделей текстильных веретен из заготовок стали марки ШХ-15. Максимальный диаметр — 14 мм, минимальный — 5 мм при длине детали до 700 мм; скорость выхода заготовки из валков — до 2 м/мин.

Привод валков рабочей клетки осуществляется от электродвигателя переменного тока АО-52 мощностью 9,5 кВт через бесступенчатую фрикционную передачу, обеспечивающую плавную регулировку числа оборотов. Натяжение в процессе прокатки создается одним гидравлическим цилиндром и передается заготовке через шток, тележку и автоматический патрон. При движении тележки вместе с ней перемещаются копиры, один из которых через следящий клапан изменяет раствор валков, а другой, действуя на клапан скорости и редуктор давления, создает изменение скорости и величины натяжения в процессе прокатки.

После окончания процесса прокатки заготовка выходит из валков и при дальнейшем продвижении каретки освобождается из зажимного патрона под действием специального упора.

Освобожденная заготовка попадает на подъемные лотки, которые перемещают ее на непрерывно движущийся транспортер, предназначенный для удаления заготовок со стана.

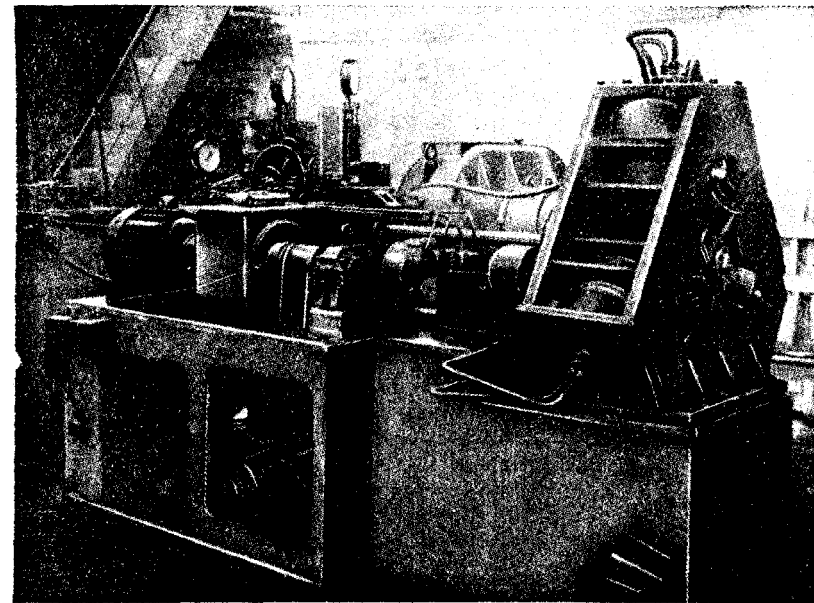


Рис. 131. Стан ЦКБММ-10 для прокатки шпинделей текстильных станков

Нагрев заготовки производится в витковом индукторе т. в. ч., который установлен в одну линию со станом по оси прокатки. Заготовка поступает из бункера на приемный лоток, откуда пневматическим толкателем попадает в индуктор и одновременно выталкивает нагретую заготовку через проводку и валки в зажимной патрон.

В качестве инструмента используются три конусных валка, оси которых наклонены под углом 45° к оси прокатки.

Применение конусных валков объясняется малыми размерами прокатываемых шпинделей, которые обуславливают выбор диаметра валков. При поперечной прокатке тремя валками диаметры валков выбираются в зависимости от диаметра прокатываемого изделия по формуле

$$D_s = \frac{d_a}{0,16} - 1,16\Delta, \quad (99)$$

где d_s — наименьший диаметр прокатываемой заготовки и Δ — гарантийный зазор между валками.

Рабочая часть конусных валков станов поперечно-винтовой прокатки представляет собой сочетание двух усеченных конусов, при этом контактная поверхность валков и металла имеет относительно малую протяженность вдоль оси заготовки (калибрующий участок), вследствие чего деформация металла в тангенциальном направлении затруднена влиянием соседних объемов металла. Входной конус в сочетании с правильной формой валка обеспечивает нормальные условия получения проката с большими обжатиями, чистой поверхностью и точными геометрическими размерами. При калибровке инструмента следует исходить из условий внедрения и выхода валков из металла, прочности головки валка и обеспечения высокой производительности стана.

Процесс поперечно-винтовой прокатки в конусных валках можно разделить на два периода. В первый период происходит обжатие цилиндрической заготовки по конусу, а во второй — конечное обжатие по цилиндру на требуемый калибр.

В процессе прокатки происходит значительное уменьшение площади поперечного сечения заготовки, а на отдельных участках профиля коэффициент вытяжки заготовки достигает 6. По мере уменьшения площади сечения прокатываемой заготовки поступательная скорость ее отдельных сечений возрастает и может меняться по длине очага деформации.

При скольжении металла по поверхности валков работа сил трения на их различных участках неодинакова и зависит также от температуры заготовки. В результате охлаждения конца заготовки в процессе прокатки возрастает сопротивление пластической деформации и увеличивается коэффициент трения, а это влечет за собой рост удельных давлений и повышенный износ валков.

Расход валков на тонну прокатываемого металла является одним из основных показателей их качества и стойкости в эксплуатации. При выборе жаростойкого материала для валков следует исходить из того, что они работают в тяжелых условиях при постоянно изменяющихся нагрузках. Валки, изготовленные из обычной штамповой стали 5ХНМ, оказались нестойкими. Так, один комплект валков из хромоникелевой стали первоначально обеспечивал прокатку только 400—500 заготовок шпинделя веретена, после чего требовалось восстановление их первоначального профиля (при этом расход основного инструмента по стану 10 составлял 20 кг/т). В результате анализа условий работы валков и выяснения причин их износа был подобран более жаропрочный

материал с высокими механическими свойствами. Использование стали ЭИ160 (твердость 50—54 R_C) для валков значительно повысило стойкость головок валков (расход на 1 т проката уменьшился до 1,5 кг). Применение же азотирования с повышением поверхностной твердости до 60—64 R_C устраняет налипание металла на валки.

Однако для массового выпуска деталей типа шпинделей, когда производительность стана при прокатке одинарной заготовки должна быть 1000—1300 шт. в смену, потребовалось провести изыскание более стойких материалов, обеспечивающих высокую чистоту поверхности. Эта задача решена на Коломенском заводе текстильного машиностроения, где для головок валков применен металлокерамический сплав карбида вольфрама с кобальтом ВК8 (85—87 H_V).

Головки валков из твердого сплава, обладая достаточной вязкостью и высокой жаропрочностью, а также значительной износоустойчивостью, позволили резко повысить стойкость инструмента стана 10 и обеспечить прокатку на одном комплекте валков до 15000 шпинделей. Если стоимость одного комплекта валков и возросла, то при значительном увеличении стойкости (общий расход их по весу 0,4 кг/т) стоимость таких валков в дежнем выражении не превышает стоимости затрат на инструмент при токарной обработке.

Каждая головка выдерживает до 10 перерегулировок (перешлифовок).

Кроме валков, к инструменту станов поперечно-винтовой прокатки относятся зажимы автоматического патрона, предназначенные для захвата и центрирования заготовки в процессе прокатки и передачи ей осевого натяжения. Зажимы патрона (по три в каждом комплекте) работают в условиях ударной нагрузки (при захвате нагретой заготовки) на сжатие и растяжение при удержании заготовки под натяжением.

Расчет зажимов на прочность показывает, что для обеспечения нормальной работы они должны изготавливаться из штамповой стали 5ХНМ, предел прочности которой при растяжении $\sigma_B = 146 \text{ кг/мм}^2$, а пальцы для крепления зажимов в головке патрона — из стали 3ХНВ ($\sigma_B = 96 \text{ кг/мм}^2$).

Так как ход каждого зажима ограничен направляющими головками патрона, то один комплект зажимов не обеспечивает захват и прокатку заготовок различных диаметров. Для расширения диапазона размеров заготовок при прокатке следует выбирать для каждого стана автоматические патроны нескольких типоразмеров. Более простым способом захвата заготовок в широком диапазоне диаметров на одном патроне является применение

универсальной головки, которая позволяет быстро менять и устанавливать различные по высоте зажимы. Применение таких зажимов на другом стане (стане 70) позволило обеспечить захват и прокатку на одном патроне заготовок диаметром от 30 до 80 мм.

Износ зажимов носит неравномерный характер по длине кромки каждого выступа, так как зажимы, захватывая заготовку, соприкасаются с ней в первую очередь в центре. Это вызывает усиленный износ середины кромки. Затем линия износа постепенно расширяется и принимает форму, близкую к дуге окружности заготовки. При наличии на зажимах нескольких кромок, расположенных по высоте таким образом, что износ их в процессе прокатки происходит последовательно, на стане 70 достигнута стойкость инструмента (из стали 5ХНМ) в среднем до 5000 заготовок. Вес зажимов незначительный и в связи с этим удельный расход инструмента составляет не более 0,01 кг/т.

Промышленный стан 70 (рис. 132) предназначен для прокатки круглых периодических профилей диаметром от 20 до 70 мм длиной до 2500 мм, с обжатием по диаметру (отношением диаметра заготовки до прокатки к диаметру после прокатки) до 2—2,1. Производительность стана, при прокатке заготовок диаметром 50 мм, около 6000 т металла в год; общий вес стана 25 т. Прокатка осуществляется тремя конусными или дисковыми валками, расположенными под углом 120° друг к другу и наклоненными под углом 60° к оси прокатки. Привод валков производится от двигателя постоянного тока ПН-550, мощностью 50 кВт, через клиноременную передачу, шестеренную клеть, универсальные шпиндели и конические шестерни подушек валков. Гидравлические цилиндры валков связаны между собой рычажным механизмом синхронизации, что позволяет одновременно сближать и разводить все три валка от одного приводного цилиндра и копировально-следящей системы.

Осевое натяжение в зоне деформации заготовки создается с помощью специальных плунжеров и передается на заготовку через подвижную каретку и зажимной патрон.

Нагрев заготовок под прокатку производится в индукционной печи, питание которой производится от машинного генератора мощностью 250 кВт. Подлежащие нагреву заготовки в виде штанг диаметром 30—70 мм и длиной 900—1500 мм загружаются в бункер нагревателя и из него скатываются по наклонной плоскости на направляющие ролики. Ходом толкателя заготовка задается в индуктор и выталкивается при этом ранее нагретую заготовку, которая подвижной кареткой удаляется из индуктора и скатывается по наклонной решетке стана в желоб. Когда пневматический толкатель стана задает нагретую заготовку в патрон,

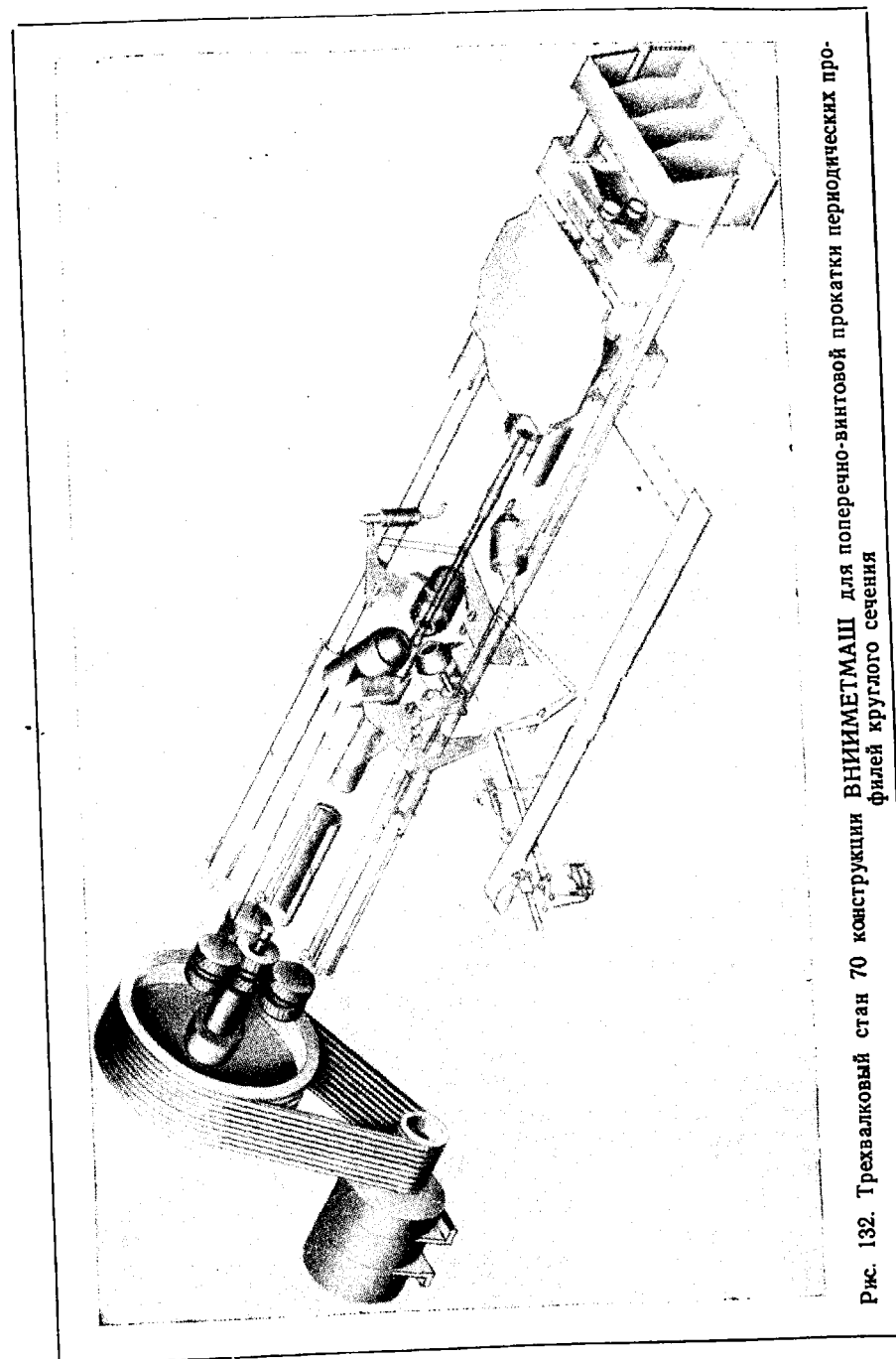


Рис. 132. Трехвалковый стан 70 конструкции ВНИИМЕТМАШ для поперечно-винтовой прокатки периодических профилей круглого сечения

каретка загрузочного устройства и толкатель индуктора возвращаются в исходное положение. Продолжительность пребывания заготовки в индукторе регулируется фотопирометром, установленным на необходимую температуру нагрева. Из приемного желоба заготовка через проводку и разведенные валки подается пневматическим толкателем до упора автоматического патрона, захваты которого плотно зажимают ее конец. Во время зажима конца заготовки в патроне происходит сближение валков до размеров, установленных началом прокатки по копиру. Вращающиеся валки сближаются и, обжимая заготовку, сообщают ей вращение. В это же время гидравлическое натяжное устройство начинает перемещать тележку с зажимным патроном в направлении рабочего хода. По мере движения тележки, вращающиеся валки сближаются в соответствии с заданным копировальной линейкой профилем, благодаря чему происходит изменение размеров заготовки по длине. После выхода заготовки из валков тележка на ускоренном ходу отходит до упора, патрон под воздействием упора освобождает заготовку и она остается на желобах. Желоба опускаются и заготовка поступает на наклонный стол, по которому транспортируется на линию резки. После опускания желобов срабатывает командо-аппарат и тележка с раскрытым патроном возвращается на ускоренном ходу к рабочей клетке.

При работе стана подача заготовки в патрон, опускание ролика на копир, перемещение тележки при прокатке и обратный ход ее к рабочей клетке происходят автоматически.

При налаживании процесса прокатки на стане 70 было опробовано большое количество различных марок стали (5ХГТ, 5ХНМ, 3ХНВ) для изготовления валков. Как показал производственный опыт, стойкость валков, изготовленных из этих марок стали, невелика; после прокатки партии заготовок в 400—500 шт. рабочий профиль валков быстро теряет свою форму и не обеспечивает нужную точность и чистоту поверхности. Расход инструмента составлял при этом 12 кг/т, кроме того, затрачивалось время на смену валков.

Лучшие результаты показывают валки, изготовленные из стали ЭИ160, термическая обработка которых заключается в нагреве до 1050° с последующей закалкой в масле и отпуске в течение 4 часов с печью до 250°; твердость валков 50—54 R_c .

Применение для валков стали ЭИ160 позволяет до полного их износа обеспечить прокатку на стане 70 более 3000 шт. полуосей автомашины «Москвич».

В качестве примера ниже приводится методика построения копировальной линейки для трехвалкового стана. В процессе обкатки рабочие валки и обкатной ролик копировальной системы совершают плоско-параллельное перемещение относительно не-

которой системы координат, связанной с натяжным устройством стана.

Практически контур копировальной линейки определяют геометрическим построением. Методику построения можно разделить на следующие операции: 1) построение приведенного чертежа готовой детали; 2) обкатка контура готовой детали профилем рабочего валка и определение линии центров обкатного ролика; 3) построение семейства кругов — профилей обкатного ролика и 4) построение огибающей семейства кругов — профилей обкатного ролика.

Необходимость вычерчивания нового — приведенного чертежа готовой детали определяется, во-первых, необходимостью поправки размеров чертежа на величину коэффициента температурного удлинения стали (для температуры, соответствующей температуре прокатки) и, во-вторых, необходимостью введения коэффициента, соответствующего масштабу копировальной системы¹. Коэффициент температурного удлинения для температур прокатки в пределах 1000—1150° с достаточной точностью может быть принят равным 1,015.

Следовательно, для получения приведенных размеров готовой детали по диаметру необходимо вводить поправочный коэффициент: $1,015 \cdot 1,25 = 1,27$; по длине необходимо вводить поправочный коэффициент, равный 1,015.

Во ВНИИМЕТМАШ спроектирован промышленный стан для поперечно-винтовой прокатки периодических профилей круглого сечения диаметром до 120 мм (стан 120²). В основном этот стан должен обеспечивать периодическим прокатом автотракторную промышленность. Как указано выше, переход от одной детали к другой при новом процессе не представляет трудностей и может быть осуществлен путем смены только одной детали — несложной линейки копировальной системы; следовательно, подобный стан можно применять в любой отрасли машиностроения.

Сортамент стана включает круглые периодические профили диаметром 20—120 мм с максимальным обжатием заготовки 1:2,5 (по диаметру); максимальная длина детали (или нескольких деталей, расположенных последовательно друг за другом) — 3400 мм. Самый большой стан, спроектированный ВНИИМЕТМАШ, предназначен для прокатки круглых периодических профилей (в первую очередь вагонных осей) диаметром до 250 мм (стан 250).

¹ Под масштабом копировальной системы понимается соотношение между размером на копировальной линейке и размером получаемого профиля обкатываемой детали. Для стана 120 принято:

а) масштаб копирования по длине — 1; б) по диаметру — 1,25.

² Этот стан пущен в 1959 г. на металлургическом заводе им. Дзержинского.

Нагретая в печи круглая заготовка диаметром до 250 мм и длиной до 1750 мм подается по наклонной решетке в приемный желоб, крышка которого открывается с помощью особого пневматического цилиндра. Другой пневматический цилиндр, расположенный по продольной оси стана, установлен для задачи заготовки в валки стана, предварительно разведенные копировальной системой. Как только заготовка поступит в валки стана и будет зажата автоматическим зажимом, крышка желоба с помощью первого гидравлического цилиндра закрывается.

Мощность двигателя этого стана равна 1500 л. с. Скорость выхода проката из рабочих валков — до 4 м/мин. Габариты стана (без вспомогательного оборудования): длина 19 м, ширина 5 м, высота 3,5 м (над уровнем пола). Вес (вместе со вспомогательными механизмами) ~ 800 т.

Работа стана полностью автоматизирована и управление им производится с одного пульты.

Канд. техн. наук В. А. Жаворонковым проведено исследование процесса поперечно-винтовой прокатки в условиях освоения его на первых промышленных трехвалковых станах. Работа по исследованию параметров станов проводилась в производственных условиях на Коломенском заводе текстильного машиностроения, где на стане 10 прокатываются шпиндели веретена шести типоразмеров, и на стане 70 — на Московском заводе малолитражных автомобилей при прокатке полуоси автомобиля «Москвич» и нескольких наименований заготовок под штамповку.

Определение давления металла на валки и деформаций, возникающих в клети трехвалковых станов, по теоретическим формулам довольно сложно. Оно может быть осуществлено только при точном учете ряда переменных технологических факторов процесса поперечно-винтовой прокатки.

Непосредственное измерение давления металла на валки, выполненное канд. техн. наук В. А. Жаворонковым с помощью проволочных датчиков сопротивления, значительно упростило подсчет усилий, действующих на рабочую клетку, и имеет практическое значение для определения расхода энергии при прокатке.

Анализ осциллограмм, полученных при прокатке заготовок диаметром от 10 до 80 мм на промышленных станах, показывает, что основные части клети несут переменные во времени нагрузки. Изменение этих нагрузок периодическое и зависит в основном от обжатия и натяжения заготовки, температуры металла при прокатке, числа оборотов валков, скорости прокатки и других параметров процесса, причем детали клети испытывают наименьшее напряжение (для данного профиля) в том случае, когда режим прокатки наиболее устойчив. Напряжения, возникающие в деталях рабочей клети, незначительны и в самых тяжелых

случаях прокатки коэффициент безопасности деталей рабочей клети остается достаточно большим (около 15).

Основные усилия, возникающие при прокатке, воспринимаются подшипниковыми опорами, размещенными в станине рабочей клети стана, и конической передачей корпуса валка. В результате расчета на прочность и долговечность этих узлов определено, что напряжение изгиба в опасном сечении зубьев для станов 70 и 10 составляет ~ 1000 кг/см². Если принять, что при изготовлении шестерни из стали 40ХН допускаемые напряжения $\sigma_B = 3000$ кг/см² и $\tau_S = 2400$ кг/см², то гарантируется достаточный запас прочности зубчатого зацепления даже в случае тяжелых условий работы.

В результате исследования установлено, что применять игольчатые подшипники в качестве первой опоры (от валка) (на стане 10, где на опоры действуют значительные осевые нагрузки $P = 200$ кг) нецелесообразно. При высоком коэффициенте трения (перекос игл относительно оси шпинделя) и недостаточной грузоподъемности в условиях повышенных скоростей и высокой температуры эти подшипники при работе нередко выходили из строя. Следует применять только конические роликовые подшипники, которые при значительных осевых нагрузках и повышенных числах оборотов наиболее долговечны.

Длительная и бесперебойная работа новых трехвалковых станов зависит от характера смазки узлов трения и, особенно, быстро вращающихся деталей стана. Применение для этих целей циркуляционной смазки под давлением удовлетворяет всем конструктивным требованиям оборудования (упрощает ее смену и способствует охлаждению деталей узла валка). Герметичность смазки в корпусах валков обеспечивается прессованными резиновыми уплотнениями, которые успешно опробованы на стане 70 и могут быть рекомендованы (при наличии охлаждения корпусов водой) для новых конструкций станов.

При разработке конструкции стана предполагалось, что возникающий при ускорении вращения заготовки динамический момент будет значительно скручивать заготовку. Однако опыт эксплуатации стана 70 показал, что скручивание заготовки от действия динамических моментов незначительно. Так, при водяном охлаждении прокатываемой заготовки после ее выхода из валков была осуществлена прокатка с обжатием $\xi = 2,61$, без значительного скручивания по длине. Это позволяет сделать вывод, что применение схемы автоматического регулирования и поддержания постоянства скорости заготовки не является технологической необходимостью процесса поперечно-винтовой прокатки. Опробование различных конструкций патронов показало, что идя по пути уменьшения массы вращающихся частей патрона

(т. е. уменьшения махового момента) можно достигнуть значительного эффекта в уменьшении скручивания заготовки при прокатке. Эффективность применения таких мер будет более значительна, чем от применения для тех же целей сложных схем автоматического регулирования.

Использование электродвигателей постоянного тока для плавной регулировки числа оборотов при настройке стана на про-

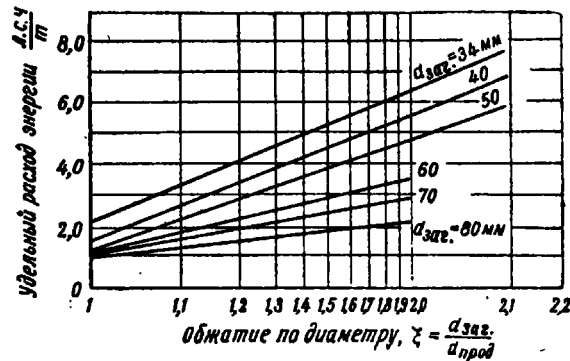


Рис. 133. График изменения общего расхода энергии в л. с. · час/т в зависимости от величины обжатия (стан 70) (В. А. Жаворонков)

мысленных установках также не требуется, так как скорости вращения валков, заданные технологическими условиями прокатки, лежат в узких пределах и могут быть осуществлены при применении трех-, четырехступенчатых коробок скоростей, совмещенных с редуктором или шестеренной клетью.

Для подсчета мощности привода, помимо самой величины нагрузки, необходимо знать еще характер изменения этой нагрузки по длине прокатываемого изделия.

Кривые, приведенные на рис. 133, отражают не только величину общего расхода энергии на тонну металла, но и позволяют определить изменения расхода энергии по мере деформации металла (в зависимости от величины обжатия, при $n_{ср} = 400$ об/мин).

Универсальные шпиндели, предназначенные для передачи вращения от шестеренной клетки рабочим валкам, рассчитываются на передачу наибольшего крутящего момента. Так, согласно расчету универсального шпинделя стана 70 ($D_n = 76 \text{ мм}$; $D_{вн} = 56 \text{ мм}$; материал — сталь 45, $\tau_{\max} = 270 \text{ кг/см}^2$), он может передавать наибольший крутящий момент $M_{кр} = 168 \text{ кгм}$. При прокатке заготовки диаметром 80 мм с обжатием 1,8 на

осциллограммах был записан $M_{кр. \max} = 17 \text{ кгм}$ (передаваемый одним шпинделем).

Сравнение этой нагрузки с допустимой показывает, что шпиндель имеет значительный запас прочности, и этот узел стана не является слабым. Наибольший угол наклона шпинделей в вертикальной плоскости равен 5° , а в горизонтальной 8° . Конструкция же шпинделей допускает наибольший пространственный угол в 10° , что вполне достаточно даже при прокатке заготовок больших диаметров с максимальным обжатием.

Продолжительность эксплуатации элементов универсальных шпинделей трехвалковых станов, работающих на повторно-кратковременном режиме, значительно ниже, чем у станов, работающих на устойчивом режиме. В условиях эксплуатации основному износу подвергаются вкладыши головок шпинделя. Наблюдения за износом этих деталей показали, что он протекает неравномерно и соответствует характеру распределения удельного давления по контактным поверхностям. При износе вкладышей всегда снижается также прочность остальных элементов узла, так как повышение зазоров в соединениях приводит к появлению ударных нагрузок. Особенно отрицательно сказывается этот износ на прилегающих к универсальному шпинделю валах-шестернях корпуса вала и шестеренной клетки стана 10.

Характерной особенностью прокатки периодических профилей на трехвалковых станах является применение натяжения. Приложенные к выходящему концу прокатываемой заготовки растягивающие усилия в пределах 0,5—7 т изменяют основную схему рабочих напряжений в очаге деформации и создают преобладание пластического течения металла в осевом направлении. Таким образом, при натяжении исключается поперечная раскатка и, следовательно, устраняется разрыхление металла в осевой зоне, свойственное обычной поперечной прокатке.

Осевое натяжение на станах создается гидравлическими цилиндрами и передается заготовке через тележку, автоматический патрон и зажимы. Гидравлическая схема стана не только осуществляет натяжение заготовки при передвижении тележки, но и обеспечивает в то же время перемещение цилиндров рабочих валков от копира через следящую систему. Теоретическое определение величины натяжения (тянущего усилия гидропривода натяжного устройства) затруднено, так как при этом, кроме параметров процесса, необходимо учитывать характеристику гидравлической системы.

Канд. техн. наук Жаворонковым для измерения усилия натяжения был выбран способ регистрации деформаций с помощью проволоочных датчиков, которые наклеивались на автоматический патрон и рабочие цилиндры стана. Изменение усилия натяжения

при прокатке передавалось от заготовки на корпус патрона через зажимы, шток и подшипники. Одновременно на цилиндре фиксировалась деформация в радиальном направлении. Тарировка усилия натяжения по найденным деформациям производилась с помощью пружинных динамометров.

При прокатке шпинделя веретена ШП-0321 из стали ШХ9 ($d_s = 11$ мм, $l_s = 240$ мм) при температуре $t = 960 \div 1020^\circ$ угле разворота валков $\varphi = 4,5^\circ$ и числе оборотов валков $n_v = 500$ об/мин средняя величина натяжения составляет 210 кг. Изменяя скорость выхода металла из валков в пределах 0,3—1,5 м/мин, получаем увеличение усилия натяжения с 210 до 550 кг. Достаточно увеличить обжатие при прокатке до $\xi \approx 2,16$, т. е. взять исходную заготовку диаметром 14 мм, как величина натяжения возрастет еще больше ($S_{\text{макс}} = 930$ кг). Повышение же числа оборотов валков до $n_v = 700$ об/мин и температуры прокатки до 1200° , наоборот, уменьшает величину натяжения до $S = 470$ кг (при $v = 1,4$ м/мин и $\xi = 2,16$).

Анализируя эти данные, можно прийти к следующим выводам, общим для процесса поперечно-винтовой прокатки периодических профилей: 1) величина натяжения возрастает при увеличении скорости выхода металла из валков или обжатия и 2) уменьшается с увеличением числа оборотов валков или температуры прокатки.

При внедрении в производство новых прокатных станов потребовалось усовершенствовать нагревательные устройства. Для автоматизации кузнечного и прокатного производства в последние годы были разработаны автоматические агрегаты с индукционным нагревом металла. Нагрев заготовок токами высокой частоты позволил сократить время нагрева в 30—40 раз, сократить на 3% угар металла, а также значительно уменьшить габариты нагревательных устройств, что позволило совместить операции нагрева и обработки металла в одном агрегате. Установленный в кузнечном цехе Московского завода малолитражных автомобилей (МЗМА) индукционный нагреватель, питающийся от машинных генераторов частотой 2000 Гц, обеспечивает автоматическую подачу нагретых заготовок к стану 70 через 45—60 сек. (в зависимости от цикла прокатки). Пребывание заготовки в индукторе регулируется фотопирометром, устанавливаемым на необходимую границу температуры (1050—1200°). Все операции, начиная от загрузки холодной заготовки в индуктор и кончая укладкой заготовки в приемный желоб стана, автоматизированы.

Заготовки малых диаметров 10—12 мм на стане 10 нагреваются токами высокой частоты (от лампового генератора ГЗ-46). Такой способ нагрева, хотя и обеспечивает подачу нагретых заготовок к стану через 15—20 сек., является очень неэконо-

мичным. Наблюдаются значительные потери мощности при подводе высокой частоты от нагревателя к индуктору. Для станов типа стана 10 следует рекомендовать применение контактного способа электронагрева, который для заготовок малых диаметров является наиболее эффективным.

Для снижения трудоемкости дальнейшей обработки прокатных заготовок периодических профилей требуется усовершенствование существующего метода резки заготовок на мерные длины. Удаление технологически неизбежных отходов с переднего и заднего концов заготовки, а также получение из проката отдельных деталей и заготовок под штамповку представляют значительные трудности. При этом не может быть осуществлен обычный зажим заготовки перед рубкой, так как прокатанная штанга имеет коническую или ступенчатую цилиндрическую форму, периодически повторяющуюся по длине. Опробованные для этих целей рубка проката на прессе и резка его карборундовыми кругами на станке с применением специальных подкладных штампов и упоров оказались непроизводительными и значительно удорожают себестоимость изделий.

Вопрос получения мерных заготовок и деталей может быть решен применением комплекса механизмов, обеспечивающих механизацию и автоматизацию резки прокатанных штанг. В настоящее время на МЗМА для целей резки используется дисковая пила с большим числом оборотов. При этом резка с одновременным удалением технологических отходов осуществляется автоматически. Таким образом, имеются предпосылки для создания новых трехвалковых станов поперечно-винтовой прокатки с совмещением операций нагрева, прокатки и резки заготовок в одном автоматическом агрегате.

4. МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И СТРУКТУРА МЕТАЛЛА, ПОДВЕРГНУТОГО ПОПЕРЕЧНО-ВИНТОВОЙ ПРОКАТКЕ. ТОЧНОСТЬ ПРОКАТКИ

Для изучения качества и свойств металла после поперечно-винтовой прокатки во ВНИИМЕТМАШ было проведено сравнительное испытание образцов, изготовленных путем поперечно-винтовой прокатки и выточенных из заготовок, полученных обычной продольной прокаткой.

В объем сравнительных испытаний входили испытания на усталость, статическое растяжение, ударную вязкость, твердость по сечению образца, а также детальное изучение макро- и микроструктуры.

Все исследования проводились на образцах из стали марки Ст. 5 одной плавки следующего состава: 0,37% С; 0,35% Si; 0,66% Mn; 0,042% S; 0,021% P; 0,08% Cr; 0,14% Al.

Образцы диаметром 30 и 50 мм для усталостных испытаний были прокатаны из круглой заготовки диаметром 60 мм следующего химического состава: 0,38% С; 0,26% Si; 0,63% Mn; 0,036% S; 0,032% P; 0,02% Сг; 0,02% Al.

Результаты исследований механических свойств и структуры образцов, полученных поперечно-винтовой прокаткой, позволяют сделать следующие выводы.

1. Образцы, полученные поперечно-винтовой прокаткой, имеют предел выносливости, превышающий предел выносливости образцов, выточенных из прутка, на 12—22%.

2. Образцы, изготовленные поперечно-винтовой прокаткой, имеют повышенные показатели пластичности и вязкости.

3. Поперечно-винтовая прокатка способствует измельчению зерна стали и исправлению строчечности.

4. Сопротивление усталости не уступает усталостной стойкости образцов, изготовленных ковкой и резанием из прутка.

Суммируя данные усталостных испытаний и испытаний на растяжение, следует отметить, что образцы, изготовленные поперечно-винтовой прокаткой, не только не уступают образцам, выточенным из обычного прутка, но и превосходят их по механическим свойствам. Более высокий предел выносливости в сочетании с повышенной ударной вязкостью, относительным удлинением и относительным сужением, объясняется характером процесса поперечно-винтовой прокатки. Исследование макроструктуры показало, что волокна металла, особенно поверхностные, закручиваются по винтовой линии, благодаря чему анизотропность структуры, свойственная обычной продольной прокатке, в значительной степени уменьшается.

Наряду с измельчением зерна стали при поперечно-винтовой прокатке происходит дробление неметаллических включений. Глубокое проникновение пластической деформации, с изменением первоначального направления течения металла, способствует более равномерному распределению включений по всему объему металла.

На основании исследований механических свойств и структуры прокатанных заготовок можно сделать следующие выводы.

1) прочностные характеристики металла в результате прокатки не изменяются; 2) ударная вязкость и предел усталости прокатанного металла по сравнению с исходной заготовкой повышаются на 20—30%; 3) пластичность металла прокатанных образцов выше, чем у образцов из исходной заготовки; особенно отчетливо это сказывается на угле закручивания при испытании на кручение. Наибольший угол закручивания при испытании на кручение полуосей машины «Москвич» в два-три раза превысил

угол закручивания точеного образца; 4) в прокатанном металле нет внутренней рыхлости.

На рис. 134 и 135 показаны заготовки под штамповку деталей автомашин, полученные поперечно-винтовой прокаткой. Микроструктура металла, прокатанного на трехвалковом стане поперечно-винтовой прокатки отличается от микроструктуры исходной заготовки более мелким зерном и отсутствием строчечности

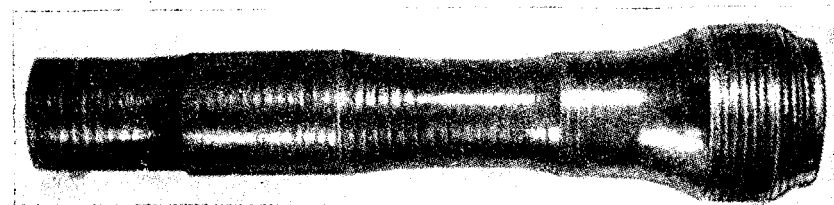


Рис. 134. Заготовка первичного вала автомашины «Москвич»

(рис. 136). Повышение пластичности металла в результате прокатки на трехвалковом стане, а также увеличение ударной вязкости и предела усталости прокатанного металла имеют большое значение для машиностроения, так как позволяют увеличить несущую способность деталей машин, испытывающих динамиче-

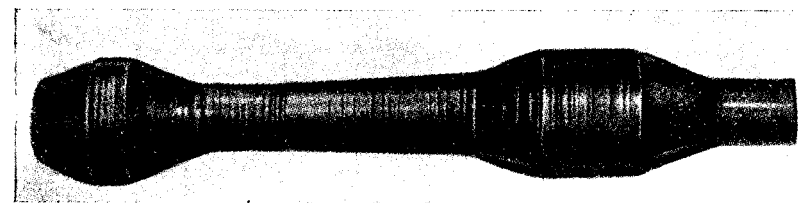


Рис. 135. Заготовка шатуна автомашины «ЗИЛ»

скую нагрузку и работающих на кручение. На основании статистических материалов по обмеру нескольких партий заготовок для полуосей автомашин ЗИМ и «Москвич», прокатанных на станах ЦКБММ-9 и 70, установлено, что отклонения по диаметру в размерах в среднем находятся в пределах 0,3—0,8 мм. Точность, достигнутая при изготовлении поперечно-винтовой прокаткой шпинделей веретен, позволяет отказаться от их механической обработки за исключением шлифовки центрирующих конусов.

5. ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ПРОЦЕССА ПОПЕРЕЧНО-ВИНТОВОЙ ПРОКАТКИ

Новый технологический процесс поперечно-винтовой прокатки периодических профилей круглого сечения характеризуется экономией металла, достигаемой при изготовлении деталей и заготовок.

Заготовки круглого сечения прокатываются на станах поперечно-винтовой прокатки с высокой точностью. Отклонения от заданных размеров составляют $\leq 1,5\%$ по диаметру и $\leq 1,5$ мм по длине изделия, что позволяет значительно уменьшить припуски и, следовательно, меньше металла перерабатывать в стружку. При прокатке устраняется отход металла в облой (заусенец), который является неизбежным при изготовлении таких деталей штамповкой.

Благодаря точности периодического проката при использовании его в качестве заготовок для штамповки деталей некруглого сечения уменьшается отход металла в облой при штамповке. Расчеты показывают, что экономия металла достигает примерно 25%, а для некоторых изделий еще выше.

Промышленные испытания текстильных веретен типа 325Б и 385Б, прокатанных на трехвалковом стане ВНИИМЕТМАШ, показали, что экономия металла достигает 47% и только по одному заводу «Текстильмаш» она выражается в сумме около 800 тыс. руб. ежегодно.

По некоторым изделиям длительность обработки деталей из периодического проката уменьшается в 2 раза за счет снижения припусков на механическую обработку.

Производительность штамповочных прессов и молотов повышается, во-первых, благодаря разгрузке последних отковки и штамповки большого количества поковок круглого сечения, во-вторых, благодаря освобождению кузнечно-прессового оборудования от операций предварительной штамповки и переводу прессов и молотов на штамповку из периодического проката.

Механические свойства деталей, прокатанных на опытном стане, были проверены в лабораториях ЦНИИТМАШ, ЦНИИ железнодорожного транспорта и Московского завода малолиitraжных автомобилей.

Испытания полуосей автомашины «Москвич» показали, что прочностные характеристики периодического проката не хуже, чем у кованых изделий; пластические свойства прокатанных деталей значительно (в несколько раз) выше свойств кованых деталей (угол скручивания прокатанной полуоси 1230° , кованой 290°).

Большим преимуществом нового процесса является его универсальность, заключающаяся в возможности прокатки на одном

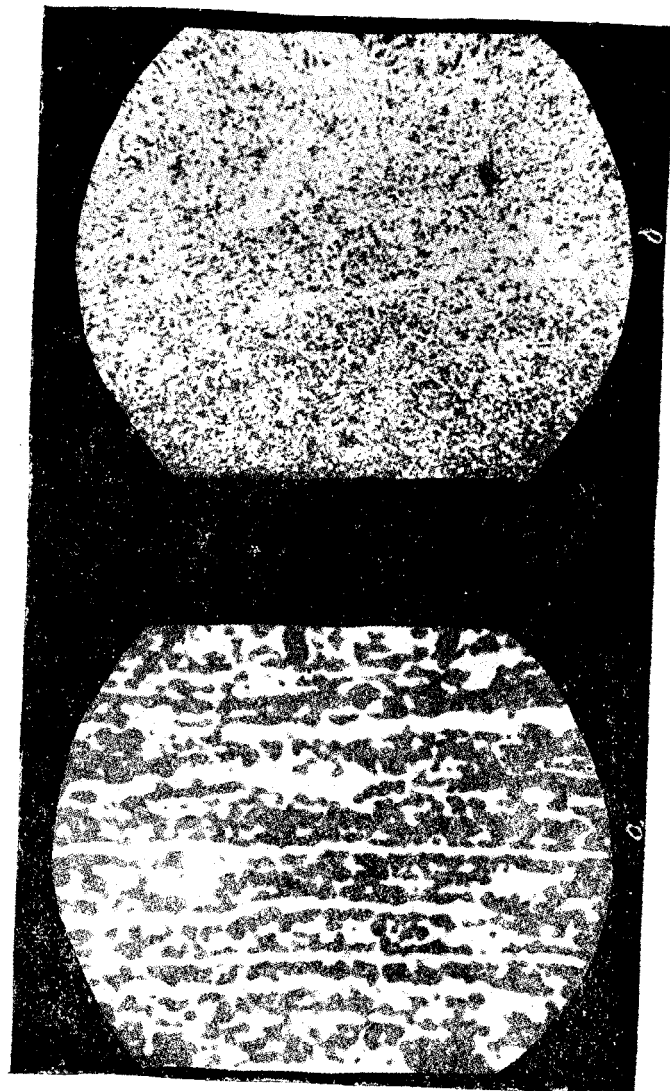


Рис. 136. Микроструктура:
а — исходная заготовка; б — прокатанная заготовка

агрегате как сплошных, так и полых периодических профилей различной конфигурации.

Другими преимуществами нового процесса являются: малый износ рабочих валков по сравнению со штампами, значительно меньшие вес и стоимость механического и электрического оборудования прокатного стана по сравнению с весом и стоимостью соответствующих по производительности молотов и прессоов; простота и дешевизна рабочего инструмента (простые некалиброванные валки и несложная копировальная линейка, изготавливаемая из листовой стали).

В табл. 22 приведены некоторые данные, характеризующие производительность трехвалковых станов поперечно-винтовой прокатки при изготовлении автомобильных деталей.

Таблица 2

Производительность трехвалкового стана для поперечно-винтовой прокатки периодических профилей

Наименование детали	$v = 5 \text{ м/мин}$		$v = 3 \text{ м/мин}$		Повышение производительности при прокатке по отношению к производительности при штамповке, %		
	часовая производительность, шт.	длительность выполнения суточной программы, час.	часовая производительность, шт.	длительность выполнения суточной программы, час.			
Полуось автомашины «Москвич»	300	1,5	173	2,6	48,5	690	400
Первичный вал автомашины «Москвич»	1020	0,28	610	0,36	—	—	—
Вторичный вал автомашины «Москвич»	945	0,23	565	0,39	—	—	—
Шестерня ведущая автомашины «Москвич»	1230	0,18	736	0,3	—	—	—
Шатун автомашины ЗИС-150	800	2,63	480	4,38	125	640	384

В табл. 23 приведены экономические показатели, характеризующие преимущество перехода на периодический прокат при производстве деталей автомашины «Москвич». Производительность трехвалкового стана конструкции ВНИИМЕТМАШ определяется из условия, что средняя скорость прокатки равна 2 м/мин при машинном времени, составляющем 70% от общего времени. Длина исходного прутка, загружаемого в печь, примерно 1,5 м.

Как видно из таблицы, годовая экономия металла от перевода на периодический прокат только 6 деталей автомашины «Москвич» составляет почти 300 т. При этом следует отметить, что детали изготавливаются из специальных марок стали, поэтому в денежном исчислении экономия металла составит около 580 тыс. руб.

Кроме того следует учесть значительное сокращение обработки прокатанных заготовок на металлорежущих станках, что также составляет большую экономию средств. Так, например, изготовление полуоси автомашины «Москвич» на стане ВНИИМЕТМАШ позволяет наполовину уменьшить объем токарной обработки.

Экономия, получаемая при переходе на периодический прокат может быть подтверждена также и расчетом стоимости кузнечно-прессового оборудования, необходимого для изготовления перечисленных деталей в указанных количествах. Так, для изготовления шестерни заднего моста при коэффициенте загрузки горизонтально-ковочной машины, равном 0,16, соответствующая доля стоимости этой машины, относящаяся к загрузке изготовлением данной шестерни, составит (по данным Оргавтопрома) 32,6 тыс. руб. По всем перечисленным деталям стоимость кузнечно-прессового оборудования будет составлять около 540 тыс. руб., что соответствует стоимости стана ВНИИМЕТМАШ. В то же время этот стан указанными шестью деталями не будет полностью загружен.

Так, на изготовление путем прокатки годового количества шести деталей, приведенных в таблице, необходимо только 1950 час., что составляет коэффициент загрузки стана ЦКБММ (при двухсменной работе) всего 0,41.

Ниже приводятся проектные данные, характеризующие технико-экономические преимущества перехода на периодический прокат при производстве вагонных железнодорожных осей.

При существующем способе изготовления вагонных осей расход металла на ось с диаметром шеек 145 мм, при ее весе в обработанном состоянии 412 кг, составляет 545—570 кг в случаековки и 515—520 кг в случае штамповки.

При поперечно-винтовой прокатке вагонных осей расход металла на одну ось составит 470 кг (отход металла на чистовую обработку и концы равен 39 кг).

Таким образом, новый способ может дать экономию металла в 50—120 кг на каждую ось.

При годовой программе выпуска осей в 300 тыс. шт. и средней экономии металла в 85 кг на одну ось общая экономия металла при изготовлении осей новым способом составит 25 500 т в год.

При поперечно-винтовой прокатке осей на трехвалковом ста-

Производительность трехвалкового стана ЦКБММ для прокатки периодических

Наименование детали	Марка стали	Вес одной заготовки для штамповки, кг	Вес одной штамповки, кг	Вес одной заготовки		Экономия металла на одну деталь, кг	Основная программа, тыс. шт.
				для прокатки на стане, кг	после прокатки, кг		
Ведущая шестерня заднего моста	18ХГМ	1,15	1,10	0,95	0,88	0,22	60
Шестерня полуоси заднего моста	40ХН	0,36	0,33	0,31	0,29	0,05	120
Сателлит дифференциала	40ХН	0,30	0,21	0,25	0,24	0,05	120
Первичный вал коробки передач	18ХГМ	1,05	1,0	1,05	1,0	—	60
Вторичный вал коробки передач	18ХГМ	1,5	1,5	0,96	0,96	0,54	60
Полуось заднего моста	40ХН	3,8	2,8	2,9	2,7	0,9	120

не устраняется надобность в следующем оборудовании: 1) парогидравлическом прессе 1000 т или трехтонном молоте; 2) парогидравлическом прессе 600 т или трехтонном молоте; 3) гидравлических правильных прессах и 4) обдирочных станках.

Средняя производительность в смену гидравлического пресса усилием 1000 т и правильного пресса составляет около 70—80 осей, а трехтонного молота около 40—45 осей.

Производительность трехвалкового стана при прокатке осей, считая скорость выхода металла из валков 4 м/мин и принимая 15 сек. на паузы, составляет 70 шт. в час, 360 шт. в смену или 336 000 шт. в год (принимая 300 рабочих дней в году при двухсменной работе). Один стан в состоянии заменить 7—8 крупных гидравлических прессов или 14 трехтонных молотов и обеспечить производство осей в большем объеме, чем это предусматривается годовой программой транспортного машиностроения.

Сложность и стоимость нового стана соответствует сложности и стоимости примерно двух 1000-т парогидравлических прессов. Площадь для установки стана не превосходит площади, занимаемой двумя прессами (600 т и 1000 т). Ориентировочно вес оборудования стана со вспомогательными механизмами составит около 800 т; мощность привода около 1500 л. с.

Таблица 23

профилей по сравнению с ковкой или штамповкой деталей автомашины «Москвич»

Запасные части, тыс. шт.	Всего, тыс. шт.	Годовая экономия металла		Норма при ковке или штамповке шт/час	Коэффициент загрузки основного оборудования	Наименование основного оборудования	Производительность стана ЦКБММ шт/час	Увеличение производительности по сравнению с ковкой, %
		при переходе на периодический прокат, т	в тыс. руб.					
48	108	23,8	48,0	150	0,36	Горизонтальная ковочная машина 3	540	360
144	264	13,2	26,6	120	0,40	То же	2160	1800
120	240	12,0	24,2	300	0,28	Максипресс № 7	3600	1200
					0,38	Обрезной пресс 100 т		
72	132	—	1	150	0,19	Горизонтально-ковочная машина 2	450	300
72	132	71	127,8	—	—	Изготавливается из прутка на токарных станках	430	—
72	192	173	356	10	0,28	Максипресс № 6	200	200
					0,28	Обрезной пресс 245 т		
Всего		293	577,6					

Указанный стан пригоден и для прокатки пустотелых осей. В этом случае перед трехвалковым станом устанавливают прошивной стан обычного типа и проводят прокатку в один нагрев. При изготовлении пустотелых осей по новой технологии прокатки на трехвалковом стане можно получить большой экономический эффект по сравнению со штамповкой.

Новый способ поперечно-винтовой прокатки вагонных осей позволяет сократить количество занятых в производстве рабочих. Так, например, для обслуживания одного 1000-т гидравлического пресса для штамповки осей и одного пресса для правки необходимо 6 человек. Обслуживание же одного прокатного стана производительностью 360 осей в смену потребует 3 человек.

Уменьшение затрат на обработку осей на металлорежущих станках при новом процессе определяется следующим образом. На механическую обработку каждой вагонной оси затрачивается 2,5 часа, из них обдирка занимает один час. При изготовлении осей винтовой прокаткой надобность в обдирке устраняется и может быть сэкономлено 300 тыс. станкочасов.

Таким образом, новый способ производства вагонных осей

позволит сэкономить 25 500 т проката в год, добиться значительной экономии средств, а также освободить уникальное кузнечно-прессовое оборудование и крупные обдирочные станки.

Применение поперечно-винтовой прокатки на стане 10 для изготовления шпинделей веретен позволяет наряду с повышением производительности в 7—8 раз значительно сократить расход металла и стоимость единицы изделия.

Например, при механической обработке шпинделя 385В вес заготовки диаметром 11 мм и длиной 350 мм составляет 262 г. При поперечно-винтовой прокатке вес заготовки шпинделя равен 150 г. Экономия металла составляет 112 г на один шпиндель.

Сравнительные данные по эффективности изготовления заготовок шпинделей веретен прокаткой и токарной обработкой приведены в табл. 24.

Таблица 24

Сравнение эффективности изготовления заготовок шпинделей веретен прокаткой и токарной обработкой

Статьи расхода	Единица измерения	Расход на 1 т заготовок		Стоимость 1 т заготовок, руб.	
		стан 10	токарные станки	стан 10	токарные станки
Расход энергии	квт-ч	70	147,5	17,08	26,5
Расход воздуха	м ³	95	—	0,45	—
Зарплата	руб.	—	—	453,0	520,0
Дополнительная зарплата	%	—	—	22,65	31,2
Начисление на зарплату	%	—	—	34,0	37,4
Потери металла	%	24,1	51,5	470,0	1840,0
Инструмент	кг/т	0,4	—	35,0	40,0
Амортизация	%	8	8	97,0	102,0
Итого				1129,18	2597,1

Результаты эксплуатации в промышленности стана 10 указывают на возможность и целесообразность внедрения прокатки периодических профилей малого диаметра и сравнительно большой длины в различных отраслях машиностроения.

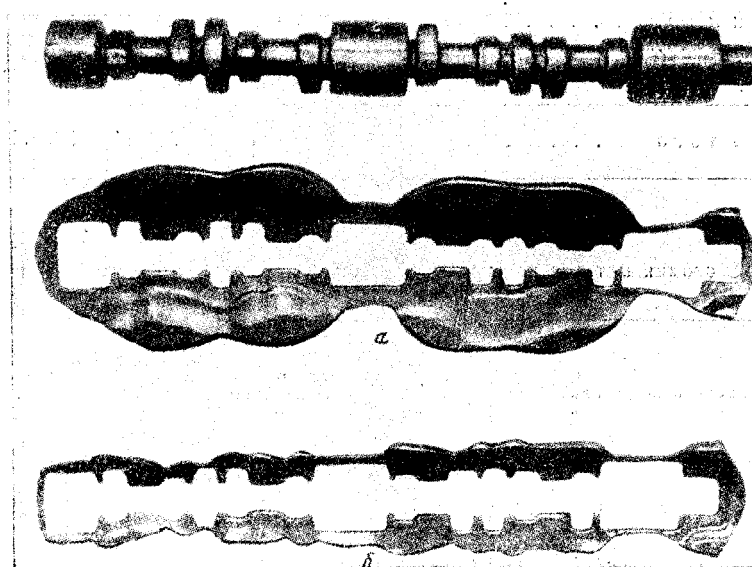
Изготовление заготовок периодического профиля под штамповку на стане 70 также дает значительный экономический эффект. В табл. 25 приведена стоимость изготовления 1 т деталей (распределительный вал) различными способами.

Особенно большая экономия металла при прокатке круглых заготовок периодического сечения получается благодаря устра-

нению отходов в заусенец и клещевину, которые при штамповке (рис. 137) составляют в среднем около 25% от веса поковок, а также благодаря снижению припусков на механическую обра-



Рис. 137. Модель вагонной оси, прокатанная на трехвалковом стане

Рис. 138. Облой при штамповке распределительного вала
а — из прутка; б — из периодического проката

ботку, так как размеры периодического проката отличаются более высокой точностью по сравнению с поковками. В табл. 26 приводятся сравнительные данные по экономии металла при применении нового технологического процесса на стане 70 для производства подката для штамповки ряда деталей автомашины «Москвич».

Кроме того, применение периодического проката в качестве подката для последующей штамповки дает возможность исклю-

Таблица 25

Стоимость изготовления распределительных валов автомобиля прокаткой и штамповкой

Статьи расхода	Единица измерения	Расход на 1 т заготовок			Стоимость 1 т заготовок, руб.		
		стан 70	пресс	молот	стан 70	пресс	молот
Расход энергии	квт-ч	45	175	3,3	6,80	31,28	128,0
Расход сжатого воздуха . .	м³	150	761,6	1388,8	2,55	12,25	23,59
Зарплата	руб.	—	—	—	3,40	6,37	17,95
Дополнительная зарплата .	%	—	—	—	0,20	0,38	1,07
Начисление на зарплату . .	%	—	—	—	0,25	0,47	1,33
Потери металла	%	12	25	31	128,0	267,50	331,70
Расход инструмента	кг/т	12	—	—	45,10	316,40	202,0
Амортизация	%	8,9	8,9	8,9	5,78	19,70	9,0
Итого					192,08	654,35	714,64

Таблица 26

Экономия металла при прокатке заготовок для деталей автомобиля «Москвич»

Наименование деталей	Вес одной заготовки для штамповки, кг	Вес одной штамповки, кг	Вес заготовки из периодического проката, кг	Экономия металла, %
Вал распределительный . .	6,15	4,21	5,0	18
Рычаг переключения передач	0,245	0,215	0,183	25,3
Рычаг (реактивный) передней подвески	1,71	0,71	1,24	27,5
Головка поперечной рулевой тяги	0,483	0,25	0,358	25,5
Накладка крепления передней подвески к раме . .	0,32	0,19	0,258	19,7
Петля передней двери:				
верхняя	0,985	0,55	0,743	25
нижняя	0,785	0,45	0,69	12

чить штамповку в наиболее трудоемких заготовительных ручьях и уменьшить число ударов в каждом ручье, что приводит к значительному повышению производительности кузнечно-прес-

сового оборудования, к высвобождению части оборудования, к упрощению и удешевлению штампов и уменьшению брака.

Одновременно с высокой экономичностью стан поперечно-винтовой прокатки отличается высокой производительностью. При среднем диаметре периодического профиля 50 мм, средней скорости выхода проката 2,5 м/мин и двухсменной работе производительность стана 70 равна примерно 6500 т в год.

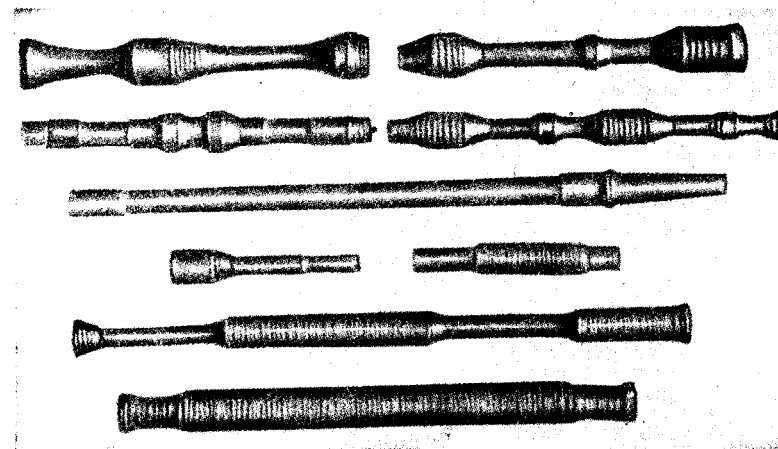


Рис. 139. Заготовки, прокатанные на трехвалковых станах

При существующей технологии штамповки полуоси автомашины «Москвич» норма выработки в смену составляет 600 деталей; при переводе данной детали на периодическую прокатку достигнута норма выработки в смену 1200 деталей.

Высокая производительность и экономичность процесса поперечно-винтовой прокатки определяют целесообразность применения трехвалковых станков в самых различных отраслях промышленности. На рис. 139 показаны различные детали, прокатанные на трехвалковом стане ЦКБММ-9 одним и тем же инструментом.

Исключительно выгодным является обработка на трехвалковых станах деталей типа торсионных валов, вагонных и вагонеточных осей, валов электродвигателей и др.

Полная автоматизация всех операций на станах позволяет устанавливать их в автоматические линии.

Особый интерес представляет технология изготовления на трехвалковых станах изделий типа вагонеточных осей, разработанная во ВНИИМЕТМАШ.

В настоящее время такие детали изготавливаются из круглого проката диаметром 60 мм путем снятия стружки на металлорежущих станках.

Производительность применяемых станков составляет за смену 500 шт. осей. По новой технологии заготовки оси прокатывают на трехвалковом стане типа 70 из прутка диаметром 60 мм с припуском на сторону 0,5—0,8 мм. Габариты стана позволяют производить прокатку трех последовательно расположенных заготовок. После прокатки заготовки подаются на линию резки, где разрезаются на три отдельные оси, затем оси поступают в другую сдвоенную трехвалковую клеть, где их концы обжимаются (калибруются) одновременно гладкими ступенчатыми вальками. Благодаря этой операции шейки оси получают строго соосными, улучшается их поверхность и уменьшается припуск на дальнейшую механическую обработку. Обжатие шеек производится в горячем состоянии, при этом используется нагрев перед прокаткой на стане 70.

От калибровочного стана заготовки попадают на холодильный. Остывшие заготовки поступают на вторую сдвоенную трехвалковую клеть, аналогичную первой для окончательной холодной калибровки шеек и накатки резьбы.

Для упрощения узла крепления валков и резьбонакатных роликов резьбонакатку можно выделить в отдельную операцию, применив для этого также двухстороннюю трехвалковую клеть.

При экспериментальном опробовании процесса машинное время на обработку осей составляло: прокатка на стане 70—0,5 мин., машинное время горячей калибровки концов осей (при обжатии $\xi = 1,3$ мм) — 8 сек.; машинное время холодной калибровки (при обжатии $\xi = 0,1—0,2$ мм) 8÷10 сек.; машинное время накатки резьбы — 10 сек.

Новый процесс, кроме повышения производительности, обеспечивает изготовление более качественных концов осей, у которых волокна, в результате пластической деформации, ориентируются по контуру изделия, а холодная калибровка вызывает наклеп на несущей части оси, что в значительной степени повышает ее сопротивление усталостному излому.

ВНИИМЕТМАШ разработаны и внедряются в промышленность ряд трехвалковых станков для прокатки круглых периодических профилей. В табл. 27 приведена техническая характеристика этих станков.

Применение периодического проката позволяет снизить расход металла на единицу годного в среднем на 10—30%. Так, например, при производстве заготовки полуосей заднего моста автомашины «Москвич» на трехвалковом стане, установленном на Московском заводе малолитражных автомобилей, расходу-

Таблица 27

Техническая характеристика трехвалковых станков для прокатки периодических профилей

Наименование параметров	Стан 10	Стан 70	Стан 120	Стан 250
Наибольший диаметр проката, мм	14	70	120	250
Наименьший диаметр, проката, мм	5	20	40	70
Максимальная длина проката, мм	700	2500	4000	6000
Годовая производительность (при двухсменной работе)	720 000 шпинделей веретен	5000 т	20 000 т	336000 вагонных осей
Мощность главного привода, л. с.	9,75	81,5	300	1500

ется на 20% меньше металла, чем при штамповке таких же заготовок. При производстве на том же стане заготовок реактивного рычага и распределительного валика экономия металла соответственно составляет 27 и 18%. При производстве заготовок шпинделей веретен ткацких станков на трехвалковом стане, установленном на Коломенском заводе текстильного машиностроения, достигается экономия 40% металла по сравнению с применявшимся ранее способом токарной обработки заготовки из обычного проката. При освоении производства периодического проката для вагонных осей вместо кованых заготовок ожидается экономия металла в размере 12,5%.

При применении периодического проката резко сокращается трудоемкость механической обработки деталей на металлорежущих станках. Например, потребное время на механическую обработку одной вагонной оси из периодического проката должно снизиться с 2 до 1,4 станко-часа.

Сравнительные технико-экономические показатели производства вагонных осей из периодического проката и обычного проката представлены в табл. 28.

В табл. 29 приведены сравнительные технико-экономические показатели производства шпинделей веретен ткацких станков.

При годовой программе завода 2 600 000 шпинделей экономия металла составляет 312 т легированной стали ШХ9.

Шпиндели изготавливают на 34 токарных станках, которые обслуживают 66 человек; станки занимают производственную площадь 320 м². Указанный годовой выпуск шпинделей может быть обеспечен тремя станами поперечно-винтовой прокатки периодических профилей, которые будут обслуживать 30 человек. Станы будут занимать производственную площадь 50 м².

Таблица 28

Технико-экономические показатели производства вагонных осей (проектные)

Показатели	Существующее производ-ство		Поперечно-винтовая прокатка заготовок
	свободная ковка заготовок на 3-м молоте	ковка заготовок бойками на прессе 1000 т	
Вес обработанной оси, кг	412	412	412
Расход металла на одну ось, кг	557	519	470
Коэффициент использования металла	0,74	0,79	0,88
Экономия металла, кг	—	38	87
Производительность в смену при производительности заготовок осей, шт.	40—50	70	480
Трудоемкость механообработки на металлорежущих станках, станко-час	2	—	1,4
Стоимость механообработки резанием одной оси, руб.	48	—	33—60
Полная стоимость одной оси, руб.	—	728	598

Таблица 29

Сравнительные технико-экономические показатели производства шпинделей веретен ткацких станков

Показатели	Существующий способ токарной обработки шпинделей	Поперечно-винтовая прокатка заготовок для шпинделей
Вес обработанного шпинделя, г	140	140
Расход металла на 1 шпиндель, г	262	160
Коэффициент использования металла	0,53	0,88
Трудоемкость изготовления одной заготовки шпинделя	200 сек.	15 сек.

Глава II

ПРОКАТКА ПРОФИЛЕЙ В ВИНТОВЫХ КАЛИБРАХ

Во многих областях техники широко применяются сравнительно короткие сплошные и полые круглые изделия переменного сечения. Так, например, на мельницах для размола руды, клинкера и угля используют сотни тысяч тонн шаров и цилиндров. Подшипниковыми, велосипедными и другими заводами в массовом масштабе изготавливаются заготовки шаров, колец и втулок. Такие изделия и заготовки изготавливались ранее штамповкой или токарной обработкой из прутков. Производство круглых изделий и заготовок отличалось малой производительностью, большой трудоемкостью и сопровождалось большим отходом металла в стружку.

За последние годы в Советском Союзе разработан и успешно внедрен в промышленность новый способ поперечно-винтовой прокатки изделий в валках с винтовыми калибрами. Этот способ отличается высокой производительностью и большой точностью формы и размеров прокатываемых изделий. Последнее преимущество позволяет значительно сократить припуски на механическую обработку изделий. Непрерывность процесса дает возможность сравнительно легко механизировать и автоматизировать трудоемкий процесс производства.

Новые станы для прокатки шаров для размольных мельниц, заготовок шаров подшипников качения и цилиндрических изделий успешно освоены и внедрены на многих заводах Союза. Применение нового способа прокатки позволило в несколько раз повысить производительность, сократить трудоемкость и сэкономить большое количество металла, перерабатывавшегося ранее в стружку. В ближайшие годы этот прогрессивный способ прокатки найдет еще большее применение в промышленности.

1. СХЕМА ПРОЦЕССА ПРОКАТКИ В ВИНТОВЫХ КАЛИБРАХ

Поперечно-винтовая прокатка круглых заготовок осуществляется между двумя или тремя вращающимися валками, на бочках которых нарезаны винтовые калибры. Профиль и размеры их соответствуют профилю прокатываемого изделия. Оси про-

катных валков обычно наклонены под небольшим углом к оси обжимаемой заготовки, благодаря чему устраняются искажение профиля калибра и в определенных пределах регулируется осевая подача металла в валки. При необходимости полного отделения формируемых изделий сплошного сечения прокатку ведут между двумя валками.

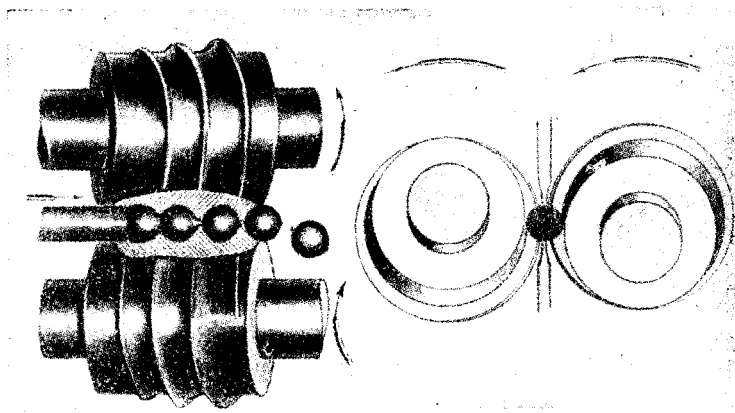


Рис. 140. Схема прокатки шаров

Впервые поперечно-винтовая прокатка с полным отделением изделий была разработана применительно к производству шаров. Схема процесса прокатки шаров представлена на рис. 140. Нагретый прутки задается во вращающиеся валки, на бочках которых нарезаны винтовые калибры. Передний конец прутка захватывается ребрами калибра. При этом заготовка начинает вращаться и одновременно продвигается по оси прокатки. Вследствие постепенного возрастания высоты ребры калибра, вращающаяся заготовка обжимается и приобретает форму шара, соединенного перемычкой с остальной заготовкой. При дальнейшем продвижении в валках шар калибруется и полностью отделяется от прутка. Для удержания обжимаемой заготовки на оси прокатки служат проводки. За каждый оборот валков прокатывается один шар, и, таким образом, производительность стана определяется скоростью вращения валков.

Поперечно-винтовая прокатка заготовок между тремя калиброванными валками находит применение при прокатке полых изделий и профилированных прутков. При наличии трех валков, оси которых расположены под углом 120° , минимальный диаметр обжимаемой заготовки определяется наибольшим возможным

сближением ребер валков. Чем меньше диаметр валка, тем меньшего диаметра заготовка может быть обжата валками. Применение трехвалковой схемы, по сравнению с двухвалковой, обеспечивает получение заготовок более точных размеров, способствует уменьшению разрыхления металла и устраняет необходимость в проводках, подвергающихся обычно интенсивному

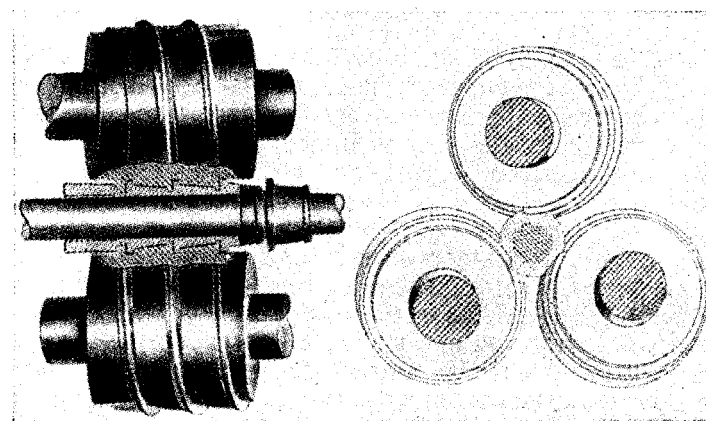


Рис. 141. Схема прокатки заготовок для кольцевых и втулочных изделий

износу и вызывающих иногда появление надиров и царапин на прокатываемых заготовках. В связи с этим при производстве полых изделий, а также сплошных изделий, где не требуется большое обжатие заготовок по диаметру, предпочтительнее применять трехвалковую схему процесса. Поперечно-винтовая прокатка между тремя калиброванными валками разрабатывается применительно к производству заготовок колец для подшипников качения и втулок велосипедов.

Схема процесса представлена на рис. 141. Нагретая труба (гильза), сидящая на оправке, задается в валки. Так же, как и при прокатке шаров, передний конец заготовки захватывается валками, начинает вращаться и, постепенно обжимаясь приобретает форму, соответствующую профилю калибра валков. Обжатие полых заготовки осуществляется между валками и оправкой, причем оправка может перемещаться по оси вместе с обжимаемой заготовкой либо оставаться неподвижной в осевом направлении. При прокатке на подвижной (плавающей) оправке, последняя извлекается из профилированной трубы после того, как она полностью выходит из валков; при прокатке на закрепленной оправке труба как бы сползает с нее.

2. ЭЛЕМЕНТЫ ТЕОРИИ ПРОЦЕССА

Течение металла и условия формообразования сплошных заготовок

Для нормального процесса прокатки профиль и размеры формирующего участка калибра рассчитываются таким образом, чтобы в процессе обжатия заготовки соблюдались следующие три основных положения.

1. Объем металла, обжимаемый в калибре, должен оставаться постоянным в течение всего процесса формовки.

2. Изменение профиля и размеров реборды калибра должно соответствовать вытяжке обжимаемой заготовки.

3. Обжатие должно осуществляться относительно узкими участками, чтобы предотвратить разрыхление металла по оси заготовки.

Соблюдение указанных условий обеспечивает прокатку заготовок правильной геометрической формы, без плен, накатов и рыхлостей, при минимальном расходе энергии на деформацию.

Однако, практически, при проектировании и изготовлении калиброванных валков неизбежны отступления от этих условий в пределах, существенно не нарушающих нормальное течение процесса прокатки.

Для соблюдения первого условия необходимо, чтобы объем заготовки, захваченной валками, в начале прокатки оставался неизменным по мере прохождения его через остальные участки калибра. В этом случае в любой данный момент в калибре не будет избытка металла. Появление избытка металла особенно нежелательно на тех участках калибра, где осевому течению препятствуют высокие реборды калибра. При появлении избытка металла искажается геометрическая форма заготовки и в некоторых случаях наблюдается разрыхление металла в осевой зоне заготовки. Наличие небольшого избытка металла (до 10%) допустимо лишь в начале калибра, когда реборда еще сравнительно низкая, и не препятствует вытеснению избытка металла. Однако для вытеснения избытка металла дополнительно расходуется энергия, что приводит к повышению мощности привода стана.

Для обеспечения постоянства объема металла в калибре реборды валка по длине калибра должны иметь строго определенные размеры.

Второе условие нормального формообразования заготовки требует, чтобы вытяжка обжимаемого участка заготовки соответствовала изменению формы и размеров реборды калибра.

Если изменение ширины реборды калибра меньше вытяжки обжимаемой заготовки, то формируемая заготовка стремится отойти от реборды, и на поверхности заготовки образовывается накат,

который при дальнейшем обжатии заготовки ведет к образованию плены на ее поверхности. Если же изменение ширины реборды калибра больше, чем вытяжка заготовки, то в обжимаемой перемычке будут возникать осевые растягивающие напряжения, которые при большей величине могут привести к обрыву перемычки.

При проектировании и изготовлении калиброванных валков обычно не представляется возможным строго выдержать второе условие нормального формообразования заготовки, так же как и не удастся полностью выдержать условие постоянства объема металла в калибре.

Анализ освоенных в настоящее время калибровок валков показывает, что в конце формирующего участка, когда перемычка обжата и имеет сравнительно малый диаметр (менее 10 мм), второе условие формообразования обычно не удается выдержать. Однако, при этом накаты и плены на поверхности заготовок не образуются, так как металл легче течет в радиальном направлении, и перемычка приобретает овальную форму.

Наоборот, в начале калибра, когда диаметр перемычки еще велик, реборда калибра обычно расширяется интенсивнее вытяжки перемычки и вследствие этого в заготовке возникают осевые растягивающие напряжения. Однако сечение перемычки на этом участке калибра еще сравнительно велико, благодаря чему нет опасности обрыва перемычки.

Уточнение размеров реборды в соответствии с формообразованием заготовок (второе условие) осуществляется в середине формирующего витка калибра, где имеется опасность обрыва перемычки или появления плен и накатов на поверхности заготовки. Таким образом, для выполнения как первого, так и второго условий формообразования заготовки реборда на различных участках калибра должна иметь строго заданную толщину, определенную расчетным путем. Для обеспечения этих же условий формирующий участок калибра имеет переменный шаг нарезки. При проектировании формирующего калибра необходимо также соблюдать и третье условие, ограничивающее в определенных размерах ширину реборды для предотвращения разрыхления металла внутри заготовки.

Исходя из рассмотренных выше основных условий деформации металла, разрабатывается калибровка валков для прокатки данной заготовки. Методику расчета и проектирования калибровки валков рассмотрим на примере прокатки шара диаметром 33 мм. Винтовой калибр валка состоит из двух участков: формирующего и отделочного. На отделочном участке калибр нарезан постоянным шагом и имеет профиль полушара. Радиус профиля калибра (R) определяется с учетом температурного расширения нагретой заготовки: $R = 1,014r = 1,014 \cdot 16,5 = 16,7$ мм.

Профиль отделочного участка калибра определяется также

шириной реборды, принимаемой приблизительно 0,1—0,15 от диаметра шара.

Отделочный участок калибра нарезается постоянным шагом $t_0 = 2R + a$. Для данного случая прокатки $t_0 = 2 \cdot 16,7 + 5 = 38,4$ мм/об.

Протяженность калибра (число витков) условно измеряется в градусах развертки винтовой линии калибра. За начало калибра (0°) принят центр радиуса калибра, расположенный на прямой, проходящей вдоль торца вала.

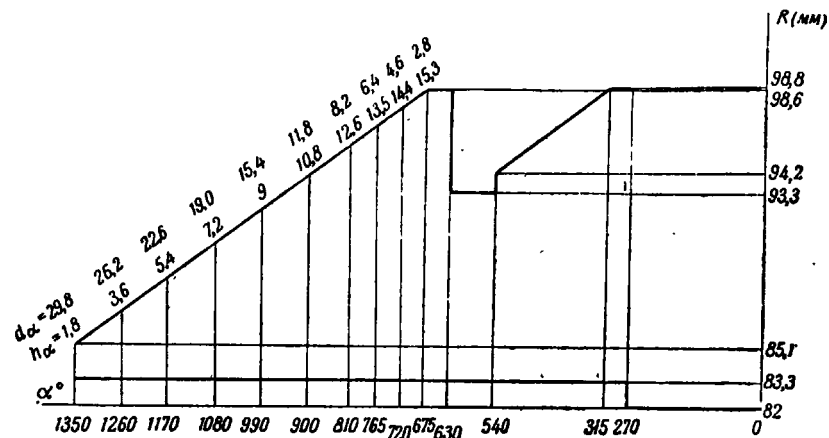


Рис. 142. График подъема реборды калибра валков для прокатки шаров диаметром 33 мм

Общая протяженность калибра (α) колеблется в пределах от 1170 до 1350° . Причем протяженность отделочного участка обычно принимается равной $\alpha = 810^\circ$ (в том числе 270° от нулевой точки калибра до начала реборды). Различная протяженность формирующего участка калибра от одного до $1\frac{1}{2}$ витков ($\alpha = 360 \div 540^\circ$) выбирается, исходя из следующих соображений. При более длинном формирующем участке калибра уменьшается интенсивность обжатия заготовки, вследствие чего улучшаются условия захвата ее валками, но усилия на валках и мощность, потребляемая двигателем, увеличиваются. При уменьшении длины калибра увеличивается интенсивность обжатия, что приводит к увеличению износа валков. Для случая прокатки шаров диаметром 33 мм принята общая протяженность калибра $\alpha = 1350^\circ$ и в том числе протяженность формирующего участка калибра $\alpha = 540^\circ$. На основании принятых исходных данных строится график подъема реборды калибра (рис. 142) и определяется высота реборды на формирующем участке калибра через каждые 90° поворота оси вала.

На первом витке калибра ($\alpha = 360^\circ$) при обжатии заготовки металл свободно вытесняется назад. Вследствие этого ширина реборды на этом участке определяется таким образом, чтобы при обжатии заготовка не отставала от реборды калибра. Анализ условий обжатия перемычки на этом участке показывает, что, если для упрощения изготовления валков принять на этом участке постоянную ширину реборды, то на этом участке в перемычке будут

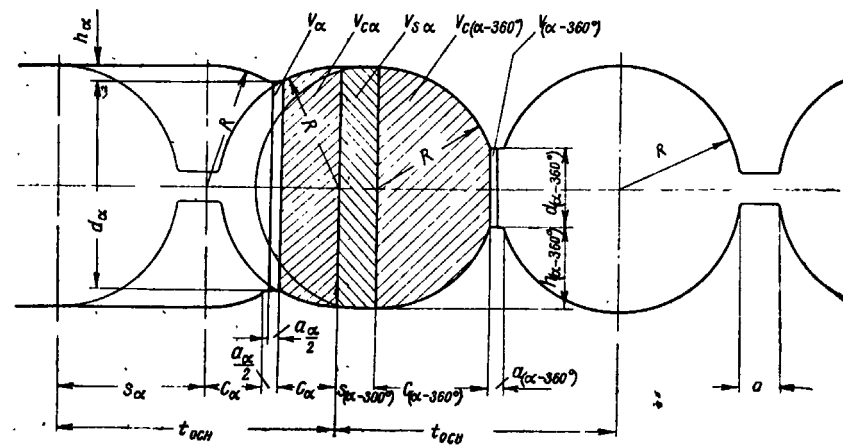


Рис. 143. Расчетная схема калибровки

возникать осевые растягивающие напряжения и, следовательно, обжимая заготовка всегда будет прилегать к реборде калибра. Исходя из этого, при проектировании калибровки валков ширина реборды на этом участке принимается постоянной и для шара диаметром 33 мм принята равной 1,8 мм. Ширина реборды на остальных участках калибра определяется исходя из условий постоянства объема металла в калибре (рис. 143) по уравнению:

$$a_{\alpha-360^\circ} = \frac{V_\alpha + V_{c\alpha} + V_{c\alpha-360^\circ} + \pi R^2 (t_0 - 2c_{\alpha-360^\circ}) V_{\text{общ}}}{\pi \left(R^2 - \frac{d_{\alpha-360^\circ}^2}{8} \right)}, \quad (100)$$

где

$$V_\alpha = \frac{\pi d_\alpha^2}{4} \cdot \frac{a_\alpha}{2};$$

$$V_{c\alpha} = \pi c_\alpha \left(R^2 - \frac{c_\alpha^2}{3} \right);$$

$$c_a = \sqrt{R^2 - (R - h_a)^2};$$

$$V_{\text{общ}} = \frac{4}{3} \pi R^3 + \frac{\pi d_a^2}{4} a_k.$$

Согласно полученной формуле, определяем ширину реборды на формирующем участке калибра через каждые 90° поворота оси

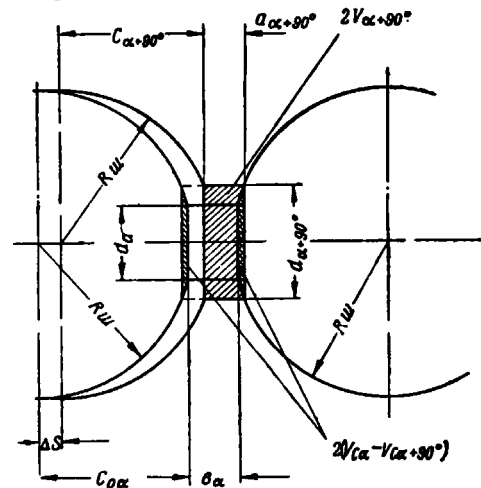


Рис. 144. Определение вытяжки перемычки при повороте вала на 90°

валка, задаваясь шириной реборды на первом витке калибра и высотой реборды согласно графику (рис. 142). Результаты расчета сведены в табл. 30. Определенные таким образом размеры реборды отвечают требованию постоянства общего объема металла в калибре.

Из приведенных в таблице данных видно, что на участке калибра $\alpha = 990 - 720^\circ$ реборда не расширяется, а перемычка заготовки при обжатии удлиняется. Это означает, что при таких размерах калибра не будет соблюдаться второе условие формообразования шара, и на прокатываемых заготовках могут образоваться плены.

Для устранения этого дефекта уточняют ширину реборды на этом участке калибра. Исходя из условия постоянства объема металла, обжимаемого ребордой (рис. 144), определяем длину перемычки (b_a) и разность $a_a - b_a$, характеризующую наличие избытка металла под ребордой:

$$b_a = \frac{2V_{\alpha+90^\circ} - 2(V_{c\alpha} - V_{c\alpha+90^\circ})}{\frac{\pi d_a^2}{4}}.$$

Результаты расчета представлены в табл. 31

Из приведенных данных видно, что от начала формирующего участка калибра до $\alpha = 900^\circ$, т. е. почти по всей длине калибра, ширина реборды увеличивается быстрее, чем удлиняется перемычка. Вследствие этого обжимаемая заготовка будет плотно

Таблица 30

Расчетные данные по определению ширины реборды калибра валков для прокатки шаров

Угол поворота оси вала, град.	Высота реборды, мм	d_a , мм	c_a , мм	V_{c_a} , мм ³	V_a , мм ³	$\pi R^2 (t_0 - 2c_a - 360^\circ)$	$\left(\frac{d_a^2 - a^2 - 360^\circ}{8} \right)$	a_a , мм
1350	1,8	29,8	7,54	6157,6	627,4	—	—	1,8
1260	3,6	26,2	10,36	7909,0	485,0	—	—	1,8
1170	5,4	22,6	12,30	8825,0	360,9	—	—	1,8
1080	7,2	19,0	13,73	9318,7	255,0	—	—	1,8
990	9,0	15,4	14,82	9572,8	—	7656,0	782,6	5,54
900	10,8	11,8	15,62	9696,2	—	6247,2	821,8	5,67
810	12,6	8,2	16,19	9739,0	—	5256,0	849,3	5,33
720	14,4	4,6	16,39	9747,7	—	4903,9	859,6	5,3

Таблица 31

Расчетные данные по определению элементов калибра валков для прокатки шаров

Угол поворота α град.	d_a мм	$\frac{\pi d_a^2}{4}$ мм ²	$2V_{\alpha+90^\circ}$ мм	Уточненная ширина реборды	$2(V_{c_a} - V_{c_{\alpha+90^\circ}})$	b_a , мм	$a_a - b_a$ мм
990	15,4	186	512	3	508,2	0,02	+2,98
900	11,8	109,5	558	4,5	246,8	2,85	+1,65
810	8,2	52,8	493	4,8	86	7,68	-2,82

прилегать к реборде калибра и накат на поверхности шара не образуется.

На участке калибра между $\alpha = 810 - 900^\circ$ имеется небольшой избыток металла; однако на этом участке накат на заготовке также не образуется, так как перемычка имеет уже сравнительно малый диаметр (менее 10 мм) и избыточный металл, как это уже отмечалось, будет легко перетекать в радиальном направлении, и перемычка примет овальную форму.

Зная ширину реборды по всему формирующему участку калибра, определяем развалку и шаг нарезки калибра:

$$s_a = t_0 - 2c_a - a_a;$$

$$t_{\text{нар}} = t_0 - \frac{s_{\alpha+90^\circ} - s_{\alpha}}{90^\circ} 360^\circ.$$

Полученный расчетным путем шаг нарезки уточняем по паспортным данным токарно-винторезного станка, на котором будет нарезаться калибр.

Результаты расчетов и выбранный шаг нарезки представлены в табл. 32.

Таблица 32

Шаг нарезки калибра валков

Угол поворота ося валка град.	s_{α} расчетный мм	Шаг нарезки, мм/об расчетный	Шаг нарезки, мм/об принятый	Настройка коробки подачи и гитары станка
540	0	37,82	37,7	Резьба метрическая, шаг 48 мм. Сменные шестерни 32:97
630	0,15	37,74		
720	0,3	35,1	35,3	Шаг 38 мм, сменные шестерни 39:100
810	1,2	31,1	31,1	Шаг 38 мм, сменные шестерни 34:99
900	2,7	27,3	27,4	Шаг 36 мм, сменные шестерни 32:100
990	5,8	24,4	24,9	Резьба метрическая, шаг 26 мм, сменные шестерни 39:97
1080	9,1	26,9		
1170	12,0	26,9		
1260	15,9	15,6	15,9	Шаг 19 мм, сменные шестерни 39:98.
1350	21,5			

Из полученных расчетных данных определяют профиль прокатного валка (рис. 145 и 146).

Влияние условий деформации на разрыхление металла

Проведенное экспериментальное исследование процесса поперечно-винтовой прокатки заготовок в калиброванных валках позволило определить параметры, при которых можно осуществить

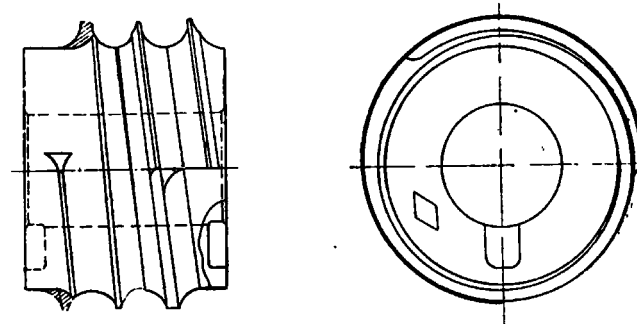


Рис. 145. Чертеж валка для прокатки шаров

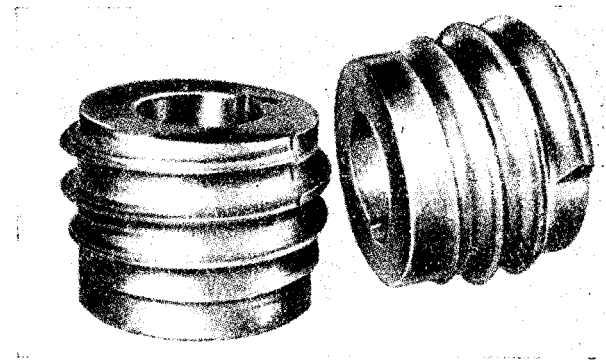


Рис. 146. Валки для прокатки шаров

поперечную прокатку заготовок с большими обжатиями без вскрытия полости.

Одно и то же суммарное обжатие заготовки может быть осуществлено за различное количество оборотов заготовки. Если заготовка при обжатии делает малое число оборотов, то интенсивность обжатия ее будет больше, чем при прокатке той же заготовки за большее число оборотов. При прокатке заданной заготовки калиброванными валками интенсивность обжатия будет увеличиваться с сокращением длины формирующего участка калибра. Так, например, интенсивность обжатия при прокатке ша-

ра диаметром 30 мм будет больше, когда формующий участок калибра имеет один виток, а не $1\frac{1}{2}$ —2 витка. При разработке калибровки валков длина формующего участка, а следовательно, и интенсивность обжатия может быть выбрана различной. В связи с этим необходимо знать, как влияет интенсивность обжатия на разрыхление металла.

Исследование большего количества образцов, прокатанных в калибровочных валках с различной интенсивностью обжатия при различных температурах нагрева металла и скорости вращения валков, показало, что с увеличением интенсивности обжатия склонность к разрыхлению металла уменьшается. Следовательно, для того, чтобы избежать разрыхления металла нужно при проектировании калибровок валков по возможности сокращать длину формующего участка калибра. Однако интенсивность обжатия можно увеличивать лишь до определенного предела, ограниченного условиями захвата заготовки валками. При чрезмерном обжатии заготовки нарушается сцепление между валками и заготовкой и последняя начинает проскальзывать в валках.

Ширина реборды калибра существенно влияет на напряженное состояние металла при поперечно-винтовой прокатке. Многочисленные исследования показывают, что при значительной ширине реборды в обжимаемой цилиндрической заготовке вскрывается полость, и лишь при отношении ширины реборды (a) к минимальному диаметру (d) заготовки $\frac{a}{d} < 1$ может быть достигнуто весьма большое обжатие, близкое к полному отделению заготовки, без разрыхления металла. На разрыхление металла существенно влияет угол наклона образующей профиля калибра. При угле наклона образующей профиля калибра к оси конусной заготовки более 60° и при прокатке шаров разрыхления металла не наблюдается, а при прокатке конусных заготовок с меньшим углом наклона образующей конуса увеличивается склонность к разрыхлению металла при поперечной прокатке. При полном отделении прокатываемых заготовок в валках прикладывать натяжение к переднему концу заготовки, как это делается на трех-валковых станах периодической прокатки, нельзя. Поэтому натяжение металла в очаге деформации может быть достигнуто путем соответствующего выбора ширины реборды калибра валков.

Если увеличить ширину реборды калибра, по сравнению с расчетной величиной, определенной из условия постоянства объема металла, то обжимаемая часть заготовки будет принудительно растягиваться, и в очаге деформации возникнут осевые растягивающие напряжения. Наличие осевых растягивающих напряжений способствует вытяжке заготовки и уменьшению раскатки по

диаметру, тем самым уменьшается склонность к разрыхлению металла при поперечной прокатке. Однако при прокатке в валках с узкими ребордами использовать натяжение можно лишь ограниченно, так как при незначительном изменении ширины реборды натяжение резко изменяется и может наступить преждевременный отрыв заготовки в валках.

В приведенных выше материалах рассмотрены случаи поперечной прокатки в калиброванных валках, когда при обжатии заготовок обеспечивается либо свободное истечение металла, либо заготовка дополнительно растягивается в осевом направлении. Однако при проектировании и изготовлении калиброванных валков не всегда представляется возможным обеспечить строгое постоянство объема обжимаемого металла, и в калибрах иногда появляется избыток металла. Наличие избытка металла в калибре, как показали опыты, способствует интенсивной раскатке заготовок в радиальном направлении, которая сопровождается разрыхлением металла. При малом избытке металла в калибре, когда металл может вытесняться через реборду в осевом направлении, поперечная раскатка не наблюдается и металл не разрыхляется. Когда избыточный металл не может вытечь из калибра, то заготовка начинает интенсивно раскатываться, и внутри ее вскрывается полость. Чтобы избежать разрыхления металла при прокатке в калиброванных валках, необходимо всячески не допускать появления больших избытков металла в калибре.

Температура прокатки оказывает различное влияние на разрыхление металла при различных прочих условиях деформации заготовки. При свободном осевом течении металла, а также при наличии натяжения в обжимаемой заготовке склонность к разрыхлению уменьшается с увеличением температуры прокатки.

Иная картина наблюдается при поперечной прокатке с избытком металла в калибре либо при затрудненном осевом течении металла. В этом случае наименьшая склонность к разрыхлению металла наблюдается при низших температурах прокатки, а с увеличением температуры до 950 — 1050° в прокатываемых заготовках обычно вскрывается полость.

Следовательно, влияние температуры прокатки на разрыхление металла различно при различных условиях деформации заготовки. При разработке технологического процесса поперечной прокатки заготовки в винтовых калибрах температура прокатки должна выбираться в соответствии с условиями деформации заготовки.

При изучении влияния скорости вращения валков на разрыхление металла установлено, что при прокатке со свободным осевым течением металла на валках с узкой ребордой (2—4 мм) изменение скорости вращения валков в пределах от 40 до 180

об/мин не влияет на разрыхление металла. Если же при прокатке осевое течение металла затруднено, то при скорости вращения валков менее 40—60 об/мин наблюдается разрыхление металла, а при увеличении скорости вращения валков до 180 об/мин склонность к разрыхлению металла уменьшается.

Таким образом, при разработке технологического процесса поперечной прокатки заготовок в винтовых калибрах скорость прокатки должна выбираться возможно большей, чтобы избежать разрыхления металла при прокатке.

Следует отметить также влияние на разрыхление структуры исходного металла. Рыхлость, имеющаяся в исходном металле, усиливается при поперечной прокатке, и в некоторых случаях приводит к образованию полости. Поэтому металл, предназначенный для поперечной прокатки, по рыхлости и загрязнению неметаллическими включениями должен строго соответствовать ГОСТ.

Изучение влияния перечисленных выше факторов на разрыхление металла при поперечной прокатке позволило определить условия деформации, при которых прокатка может осуществляться без разрыхления металла, освоить новые прогрессивные технологические процессы прокатки заготовок шаров для подшипников качения, шаров для мельниц и других круглых изделий массового применения.

Условия деформации при прокатке полых заготовок

Основные условия деформации металла, обеспечивающие нормальную прокатку полых изделий в винтовых калибрах, аналогичны условиям прокатки сплошных заготовок. Постоянство объема металла в калибре обычно достигается тем, что формовка одного изделия осуществляется одним витком калибра. При этом избыток металла свободно оттесняется от валков, и в калибр поступает мерная по объему порция металла. При дальнейшем продвижении по калибру происходит обкатка отформованного изделия, во время которой заглаживаются неровности и устраняется овальность изделия. Для того чтобы деформируемый металл не отставал от реборды формующего участка калибра, профиль ее тыльной части выбирается таким образом, чтобы изменение ширины реборды соответствовало течению обжимаемого участка заготовки. Обычно тыльная часть реборды на формующем участке имеет прямолинейную образующую, наклоненную под углом к оси прокатки. Угол наклона образующей выбирается в зависимости от величины обжатия заготовки.

Так же как и при обжатии сплошных заготовок, поперечная прокатка полых изделий сопровождается вытяжкой и тангенциальной раскаткой изделия. Последняя, как уже отмечалось, при

прокатке сплошных изделий вызывает склонность металла к разрыхлению, а при прокатке полых изделий на внутренней поверхности их образуются утяжины. Применение трехвалковой схемы способствует созданию таких условий деформации, при которых обжимаемый металл идет главным образом на удлинение заготовки, и поперечная прокатка почти не наблюдается. На нормальный процесс прокатки полых изделий существенно влияет соотношение между внутренним и наружным диаметрами обжимаемой заготовки. При малой толщине стенки наблюдается интенсивная радиальная раскатка заготовок, приводящая к потере устойчивости формы изделия в нарушении процесса прокатки.

Важным фактором процесса прокатки является изменение разностенности полых заготовки при прокатке. Создание таких условий деформации, при которых будет достигнута малая разностенность прокатываемых полых заготовок, позволит резко сократить припуски на механическую обработку и расширить область применения этой новой прогрессивной технологии производства заготовок, имеющих массовое применение.

3. ПРОКАТКА ШАРОВ И ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ

Технологический процесс и станы для прокатки мелющих шаров

Шары для размольных мельниц диаметром от 40 до 125 мм изготавливаются в огромном количестве на многих металлургических и машиностроительных заводах. Шары диаметром 40—60 мм штампуются в горячем состоянии на фрикционных и высадочных прессах из штучных заготовок, получаемых из прутков. Шары более крупных размеров куются на молотах, а в некоторых случаях отливаются и затем проковываются на молотах. Существующие способы изготовления шаров весьма малопродуктивны и не обеспечивают получения правильной геометрической формы, что в свою очередь способствует более интенсивному износу шаров.

Отсутствие совершенной технологии производства мелющих шаров и большая трудоемкость их изготовления создают трудности в обеспечении шарами горнорудной промышленности. За последние годы успешно осваивается новая прогрессивная технология производства мелющих шаров путем поперечной прокатки в винтовых калибрах.

Исходным металлом для прокатки мелющих шаров служит горячекатаный металл рядового проката марки Ст. 5 или Ст. 6. Так как номинальные размеры мелющих шаров строго не определены и при прокатке их желательно использовать металл на-

и более применяемых размеров прутков по диаметру (40, 50, 60, 70, 80, 100 и 120 мм), то номинальные размеры шаров при прокатке выбирают с учетом увеличения диаметра прокатываемого шара по сравнению с диаметром прутка, соответственно равными 41,5, 52, 62, 73, 83, 104 и 124 мм.

На машиностроительных заводах станы для прокатки шаров диаметром 40—80 мм обслуживаются камерными нагревательными печами. Прутки разрезают на заготовки длиной 1—1,5 м и нагревают в печах до 1000°. Нагретый пруток сбрасывается в приемный желоб стана и с помощью пневматического толкателя задается в валки, после чего начинается процесс прокатки, принципиальная схема которого описана выше. Процесс прокатки прутка, заданного в валки, протекает непрерывно, и за каждый оборот валков оформовывается один шар. Конструкцией калибра валков предусматривается полное отделение шара от прутка и закатка полюсных выступов. С этой целью на валке имеется дополнительный виток калибра, нарезанный постоянным шагом. Для увеличения прочности и стойкости рабочих проводок на одном из валков отрезная реборда занижается. Таким образом, обжатие перемычки в отделочном калибре осуществляется лишь ребордой одного валка.

Ввиду того что процесс прокатки протекает быстро, температура шаров при выходе из стана достаточно высокая и стабильная. Это дает возможность осуществить закалку мелющих шаров непосредственно у стана и, таким образом, использовать для закалки шаров тепло нагрева прутка под прокатку. Шары подвергаются закалке в баке с проточной водой, из которого их извлекают механизированным способом. Закаленные шары, имеющие температуру 200°, сбрасываются в короб. Здесь они постепенно охлаждаются и, таким образом, осуществляется самоотпуск закаленных шаров. Прокатанные и закаленные шары имеют правильную геометрическую форму и твердость в пределах 40—45 R_c . Износ таких шаров в мельницах значительно уменьшается и, по имеющимся предварительным данным, стойкость их в два раза больше, чем у обычных кованных шаров.

В специализированном шаропрокатном цехе на металлургическом заводе прокатка шаров диаметром 40—80 мм производится из прутков длиной до 4,5 м, а шаров диаметром 80—125 мм из прутков длиной до 6 м. Вследствие этого разрезка прутков перед прокаткой не требуется. Заготовки подвергают нагреву в печах скоростного нагрева и с помощью специальных роликов прутки перемещаются по оси печи.

Диаметры валков для прокатки шаров различных размеров выбираются, исходя из условий захвата, а также прочности осей валков и подшипников.

Согласно имеющимся опытным данным, надежный захват заготовки обеспечивается при отношении диаметра валка к диаметру шара $\frac{D}{d} \geq 5-6$. В соответствии с этим в существующих конструкциях станом приняты следующие размеры валков:

Диаметр шаров, мм	30—40	50—60	60—80	80—100	115—125
Диаметр валков, мм	200	300	450	550	700

Валки изготавливаются из углеродистой стали. Вершины реборды на участке, равном приблизительно $\frac{1}{3}$ высоты реборды, наплавляют сормайтот либо упрочняют электроискровым способом. В последнем случае валки предварительно закаляются. После наплавки и упрочнения калибр валков не подвергается механической обработке и лишь частично зачищается наждачным кругом вручную.

Стойкость таких валков достигает 300 т при прокатке шаров диаметром 40—50 мм и 800 т шаров диаметром 60—80 мм. Рабочие поверхности проводок станом также наплавляют сормайтот, и стойкость их достигает 70—100 т шаров.

Во ВНИИМЕТМАШ разработан ряд конструкций станом для прокатки шаров. Два стана — ЦКБММ-44 и ЦКБММ-45 предназначены, соответственно, для прокатки шаров диаметром 40—80 и 80—125 мм в специализированных цехах металлургических заводов. Станы эти отличаются высокой производительностью и полной механизацией транспортировки прутка к приемному желобу. Но эти станы сравнительно дороги, требуют больших производственных площадей, и поэтому установка их на машиностроительных и горнорудных предприятиях, производящих сравнительно небольшое количество шаров, не всегда может быть оправдана. Для производства шаров на таких предприятиях могут быть рекомендованы станы ЦКБММ-37А и ЦКБММ-59, предназначенные соответственно для прокатки шаров диаметром 40—60 и 40—80 мм. На этих станах длина прутков ограничена до 1,5—2 м, и нагрев прутков может осуществляться в камерных печах. Подача прутков от печей в приемный желоб стана осуществляется с помощью простейших устройств, облегчающих транспортировку прутков. Станы эти значительно дешевле, но имеют меньшую производительность, чем станы, предназначенные для металлургических заводов.

Ниже приводится краткое описание конструкции и технической характеристика шаропрокатных станом.

Стан ЦКБММ-45, двухвалковый с горизонтальным расположением валков, предназначен для прокатки шаров диаметром от

80 до 125 мм. Угол наклона осей валков к горизонтали регулируется в пределах до 7°.

Диаметр рабочих валков, мм:		
для шаров диаметром 80—100 мм		550
„ „ „ 125 „		700

Скорость вращения валков регулируется в пределах 40—60 об/мин.

Наибольшая длина задаваемых в стан прутков — 6,0 м. Стан приводится электродвигателем постоянного тока мощностью 1200 л. с., 400—750 об/мин.

Расположение оборудования стана представлено на рис. 147. Нагретая заготовка по выходе из печи попадает на рольганг. Каждый ролик рольганга приводится индивидуальным электродвигателем. В конце рольганга установлен стационарный упор, предназначенный для удержания транспортируемой заготовки. Подвижная часть упора опирается на пружину, воспринимающую удары заготовки.

Управление рольганга осуществляется с пульта. При подходе переднего конца заготовки к упору включается выбрасыватель (рис. 148), передающий заготовку на наклонную решетку, по которой пруток скатывается в приемный желоб стана. Для удаления искривленных прутков параллельно установлен второй выбрасыватель, передающий эти заготовки в специальный карман. Из приемного желоба заготовки толкателем задаются в валки.

Главная линия стана (рис. 149) состоит из электродвигателя, редуктора, зубчатых муфт, шестеренной клетки, шпиндельного устройства, вводного желоба с толкателем и рабочей клетки.

Приемный желоб стана расположен между универсальными шпинделями и служит для приема нагретой заготовки и направления ее в валки.

Рабочая клетка стана (рис. 150 и 151) по конструкции аналогична прошивному стану турбопрокатного агрегата. Рабочие валки смонтированы на роликоподшипниках и вместе с подушками установлены в кассетах, покоящихся на цилиндрических расточках нижней поперечины станины. В верхней траверсе станины установлены вкладыши, которые с помощью клиньев прижимаются к валковой кассете, фиксируя ее положение.

При повороте кассет устанавливается соответствующий угол наклона оси валка. Поворот кассет осуществляется винтами, вмонтированными в нижнюю поперечину станины с выходной стороны стана.

Станина рабочей клетки открытого типа, верхние части стоек станины соединены траверсой, на которой устанавливается верх-

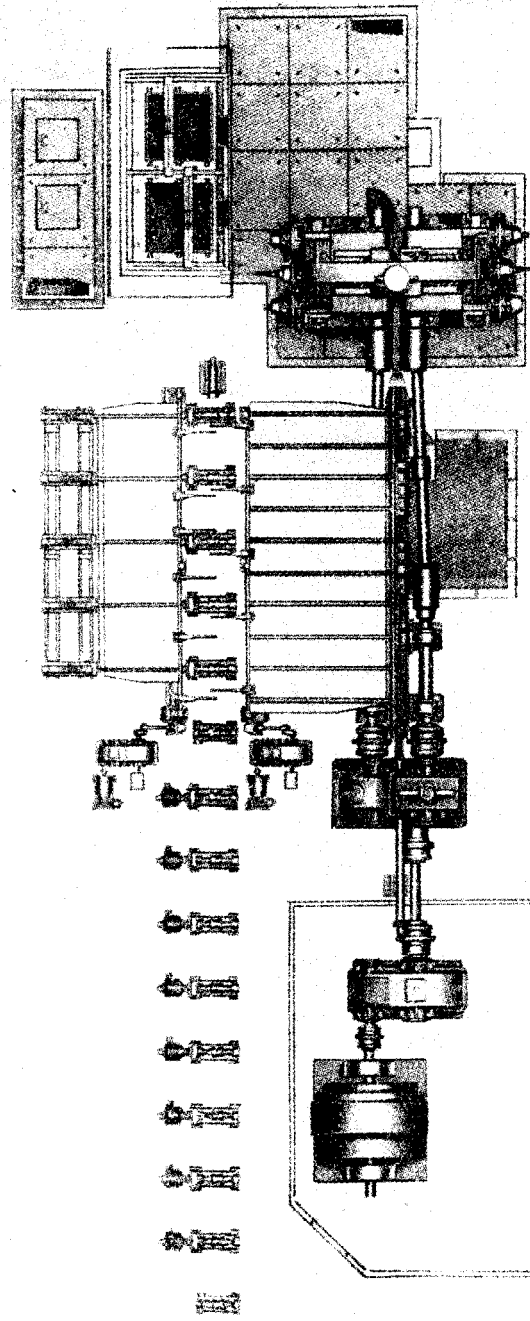


Рис. 147. План расположения оборудования стана для прокатки шаров диаметром 80—125 мм

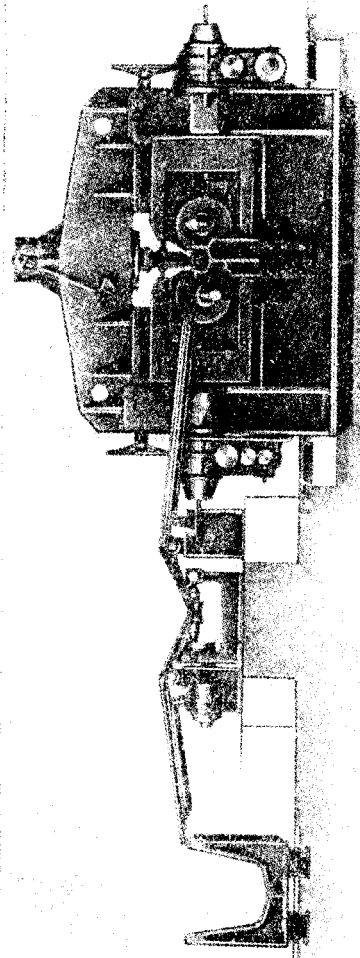


Рис. 148. Рабочая клетка
стана

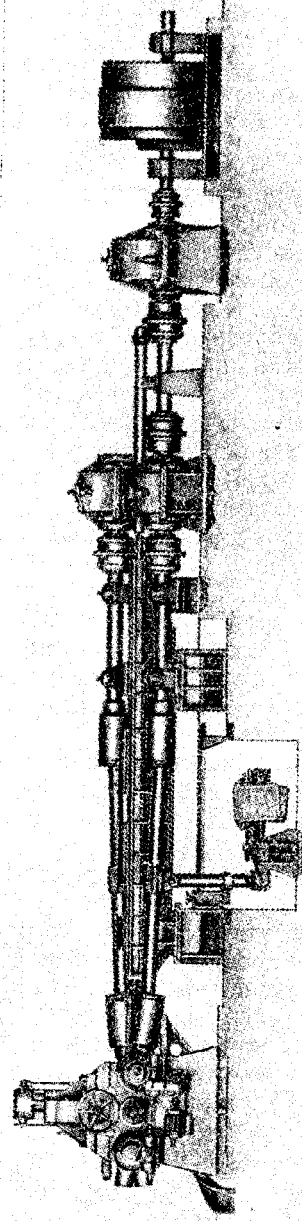


Рис. 149. Главная линия стана для прокатки шаров диаметром 80—125 мм

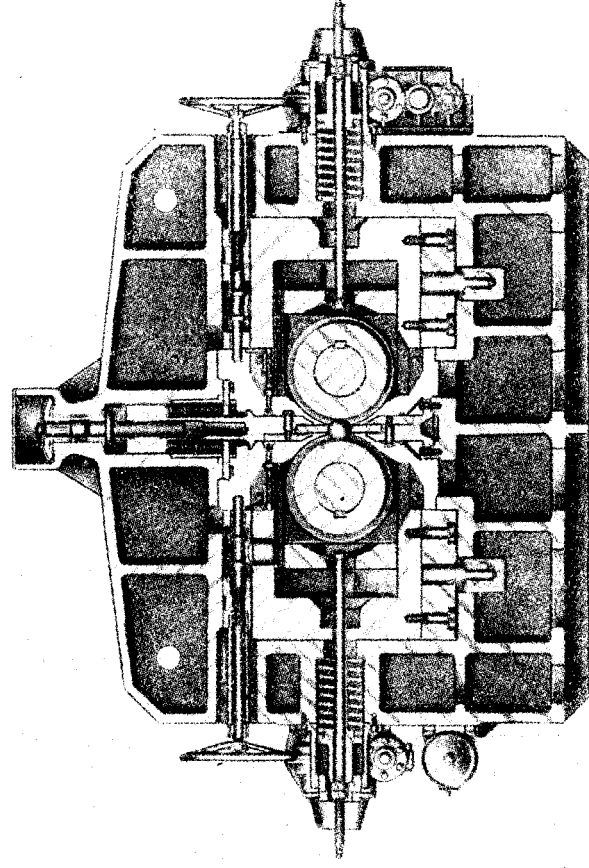


Рис. 150. Поперечный разрез по рабочей клетке стана для прокатки шаров диаметром 80—125 мм

ная проводка. В нижней поперечине станины имеются окна для удаления окалины, которая смывается водой.

Механизм установки валков приводится электродвигателем. Перемещения валков фиксируются специальным счетчиком-указателем.

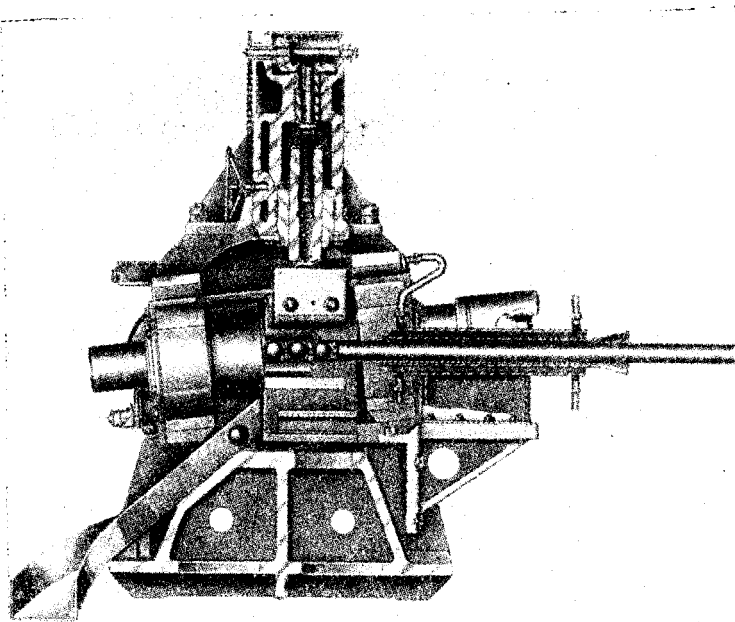


Рис. 151. Продольный разрез по рабочей клетке стана для прокатки шаров диаметром 80—125 мм

Уравновешивание валка осуществляется пружиной, установленной в станине. Пружина через втулку и гайку действует на тягу, соединенную с траверсой подушек валков. При отводе нажимных винтов в крайнее заднее положение, втулка упирается во фланец, вследствие чего тяга освобождается от траверсы подушек.

Такая конструкция уравновешивающегося устройства позволяет ускорить смену валков, которая производится комплектно вместе с подушками с помощью мостового крана и специальной скобы.

Для облегчения выемки и установки валков в окне станины к верхним плоскостям подушек привертываются планки, при снятии которых между подушкой и кассетой образуется зазор.

Верхние и нижние проводки (рис. 151) выполнены в виде цельных пластин, рабочая поверхность которых наплавлена твердым сплавом.

Нижняя проводка крепится в кронштейне, установленном на нижней поперечине станины. Механизм установки верхней проводки обеспечивает перемещение ее в вертикальной плоскости. Перемещение и фиксация проводки в горизонтальной плоскости осуществляется четырьмя регулировочными болтами, расположенными между кронштейном и кассетой. Прокатанные шары попадают на наклонный желоб, по которому они скатываются в бассейн, в котором циркулирует вода (рис. 152).

Стан ЦКБММ-44 предназначен для прокатки шаров диаметром 40—80 мм.

Тип стана двухвалковый с горизонтальным расположением валков.

Угол наклона валков к горизонтали плавно регулируется в пределах 7°.

Диаметр рабочих валков, мм:

для шаров диаметром 40—50 мм	300
„ „ „ 60—80 „	450

Скорость вращения валков регулируется в пределах 80—160 об/мин.

Наибольшая длина прутков, задаваемых в стан, 4 м.

Стан приводится электродвигателем постоянного тока мощностью 800 л. с., 375—750 об/мин.

Конструкция стана аналогична стану ЦКБММ-45.

Стан ЦКБММ-59.

Как уже отмечалось, шары для размольных мельниц изготавливаются не только на металлургических заводах, но и на заводах, изготавливающих запасное оборудование к размольным агрегатам. Для таких заводов была разработана более простая конструкция стана для прокатки шаров диаметром от 40 до 80 мм с нерегулируемым углом наклона осей валков и приводом стана от двигателя переменного тока.

Такие станы, хотя и имеют несколько меньшую производительность, но значительно проще и дешевле.

Стан ЦКБММ-59 предназначен для прокатки шаров диаметром 40—80 мм. Угол наклона осей валков к горизонтали устанавливается с помощью подкладок и может изменяться в пределах до 4°.

Диаметр рабочих валков, мм:	
для шаров диаметром 60—80 мм	420
» » » 40—50 »	300

Скорость вращения валков изменяется по ступеням; 140—95—67,5—46 об/мин. Наибольшая длина прутков, задаваемых в стан, 2 м. На стане установлено два электродвигателя переменного тока:

- а) типа АМ6-126-4, мощностью 306 л. с., 1480 об/мин.
- б) типа АМ6-128-6, мощностью 292 л. с., 980 об/мин.

Оба двигателя не работают одновременно. Установкой второго двигателя обеспечиваются дополнительно две ступени скорости вращения валков.

Так же, как и на стане ЦКБММ-45, валки установлены на подшипниках качения, но подушки валков смонтированы не на поворотных кассетах, а непосредственно в окне станины. Для установки валков под различным углом наклона к оси прокатки служат прокладки.

Такое устройство для изменения угла наклона осей валков позволяет значительно упростить конструкцию рабочей клетки, но несколько затрудняет настройку стана. Станина рабочей клетки открытого типа.

Механизм установки валков имеет ручной привод. Гайки нажимных винтов смонтированы в станинах. Передача вращения от штурвалов к нажимным винтам осуществляется через червячные редукторы, соединенные между собой зубчатыми муфтами, с помощью которых происходит одновременное или раздельное вращение двух нажимных винтов. Нажимной механизм снабжен указателем раствора валков. Нижняя проводка устанавливается на нижней поперечине станины, а верхняя проводка — на траверсе станины.

Положение верхней и нижней проводок по высоте регулируется с помощью прокладок, а в горизонтальной плоскости боковыми болтами, ввернутыми в верхние траверсы станины.

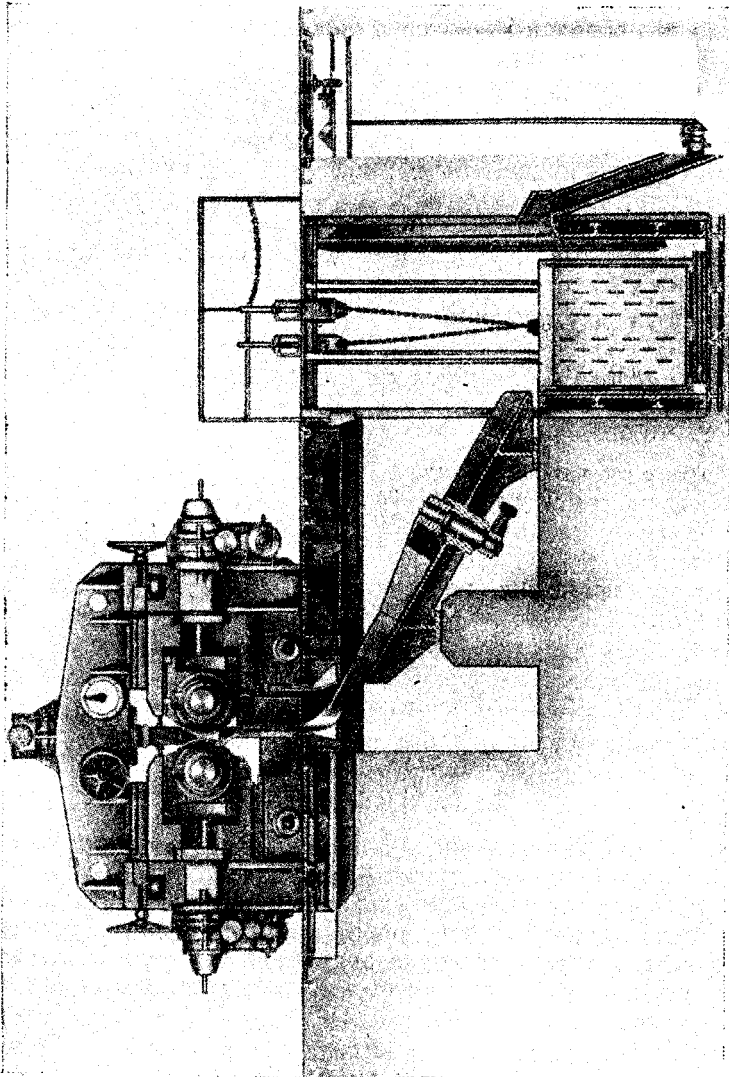
Станы такой конструкции успешно эксплуатируются на машиностроительных заводах и имеют производительность до 45 т шаров в сутки. Вид прокатанных шаров для мельниц показан на рис. 153.

Прокатка заготовок шаров подшипников качения

Заготовки шаров для подшипников качения до последнего времени производили следующими способами:

- 1) холодной штамповкой шаров диаметром до 25 мм — на высадочных прессах-автоматах;

Рис. 152. Выдача прокатанных шаров из стана



2) горячей штамповкой шаров диаметром до 40 мм — на высадочных прессах с ручной подачей прутков в штамп;

3) штамповкой и ковкой шаров диаметром более 40 мм — на молотах и прессах из штучных заготовок.

Наличие возвратно-поступательного движения ползуна и частые остановки высадочного пресса (для смены штампов и ремонта) ограничивают производительность его в пределах 1100—

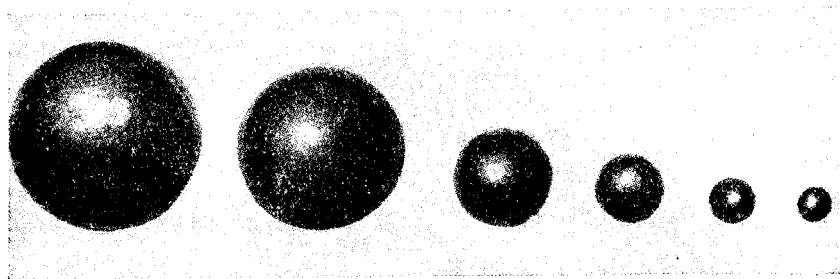


Рис. 153. Прокатанные шары для мельниц. Диаметры шаров соответственно в миллиметрах: 80, 70, 40, 30, 20, 15

1300 кг заготовок шаров в смену. Штампованные шары имеют облой, обрезка которого производится на вертикальных прессах. Вследствие неизбежного смещения осей штампов на высадочных прессах наблюдается также смещение полусфер у штампованных заготовок шаров. Эти дефекты, а также наличие поверхностных дефектов и скалывания металла при обрезке облоя, вынуждают увеличивать припуск на шлифовку шаров.

При штамповке и ковке шаров диаметром более 40 мм предварительно производится рубка прутка на мерные заготовки, из которых затем в 2—3 удара штампуются шары. Кованые заготовки, из-за неточности размеров, подвергаются обточке, сопровождающейся большим отходом металла в стружку.

Наличие указанных недостатков, присущих горячей штамповке и ковке заготовок шаров для подшипников качения, а также стремление повысить производительность и механизировать трудоемкий процесс производства заготовок шаров привлекло внимание техников к изысканию способа прокатки шаров, так как последняя является наиболее высокопроизводительным и экономичным способом обработки металла давлением.

Исходным металлом для прокатки шаров служит калиброванная прутковая сталь марки ШХ15 длиной от 2 до 4,5 м. Диаметр исходного прутка обычно на 1,5—2 мм меньше диаметра прокатываемого шара.

Металл, поступающий со склада заготовок, загружается в бункер, из которого прутки поочередно автоматически сбрасываются на ролики, подающие прутки в индуктор. При продвижении через индуктор прутки нагреваются до 850—900°.

Передний конец нагретого прутка при выходе из индуктора попадает в термостат, предохраняющий его от остывания. Когда

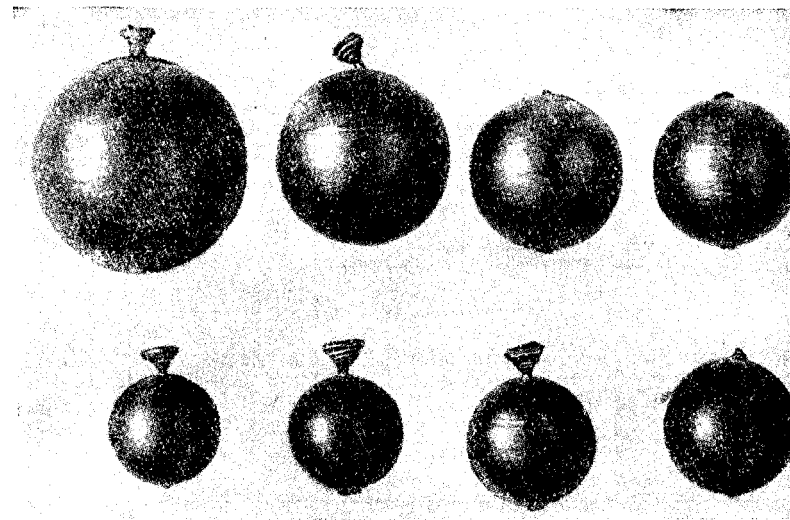


Рис. 154. Прокатанные заготовки шаров диаметром 1 1/16—2" для подшипников качения

передний конец нагретого прутка подходит к упору, автоматически откидывается боковая стенка термостата, и прутки скатываются в приемный желоб стана.

С помощью пневматического толкателя нагретая заготовка затапливается в валки. Схема процесса прокатки аналогична описанной выше.

Прокатанные заготовки шаров (рис. 154) выходят из стана в виде гирлянд по 3—4 заготовки, соединенных тонкими перемычками, либо в виде отдельных шаров с перемычкой. Заготовки шаров охлаждаются в специальном холодильнике, обеспечивающем равномерное остывание их до температуры окружающей среды. Медленное охлаждение шаров не рекомендуется, так как сталь ШХ15 склонна к образованию карбидной сетки.

Для удаления остатков перемычек шары после охлаждения подвергают галтовке в барабанах. В барабан загружают 200—

300 кг шаров и после 30—40 мин. вращения барабана остатки перемычек полностью отделяются от шаров.

Прокатанные заготовки после галтовки подвергают отжигу, назначение которого — выравнять структуру металла и понизить твердость для облегчения дальнейших операций шлифовки шаров. В табл. 33 приведены данные, характеризующие точность размеров прокатанных заготовок шаров и установленные припуски на шлифовку.

Таблица 33

Размеры прокатанных шаров

Номинальный диаметр заготовки, мм		Допуск, мм				Диаметр готового шара, мм	Припуск на шлифовку, мм (на сторону)	
штамповка	прокатка	по диаметру		овальность			штамповка	прокатка
		штамповка	прокатка	штамповка	прокатка			
34,74	34,5	+0,4	+0,2	0,16	0,16	33,338	0,701	0,581
36,33	36,0	+0,4	+0,2	0,16	0,16	34,925	0,702	0,582
40,0	38,0	+1,0	+0,2	1,0	0,16	36,513	1,743	0,743
41,5	39,3	+1,0	+0,2	1,0	0,16	38,100	1,70	0,600
44,5	43,0	+1,0	+0,3	1,0	0,2	41,275	1,612	0,862
46,5	44,5	+1,0	+0,3	1,0	0,2	43,863	1,816	0,789

Из приведенных данных видно, что к геометрии и качеству поверхностных заготовок шаров для подшипников качения предъявляются весьма высокие требования. На поверхности шара недопустимы надрезы и закаты, глубина которых больше пропуски на шлифовку.

Валки для прокатки заготовок шаров подшипников качения изготавливаются из стали следующего химического состава: 0,4% С; 0,4% Мп; 0,4% Si; 0,8% Sr; 2,5% W. После закалки валки подвергали азотизации и имеют твердость $65 \div 68 R_C$. Стойкость таких валков 25—30 т заготовок прецизионных шаров диаметром 25—40 мм. Исследования макро- и микроструктуры металла заготовок шаров, прокатанных из стали ШХ15, проведенные 1 ГПЗ и ЭНИИПП, показали, что прутки по оси прокатки деформируются мало, волокна сохраняют свое прямолнейное направление, и лишь вблизи полюсов наблюдается интенсивная деформация, сопровождающаяся скручиванием волокон.

При правильном ведении технологического процесса разрыхление металла при поперечной прокатке заготовок шаров не на-

блюдается. Прокатку ведут при указанной выше температуре нагрева прутков и сравнительно высоких скоростях (75/180 об/мин), а калибровка валков рассчитывается таким образом, чтобы обжатие заготовки осуществлялось узкими ребрами, без избытка металла в калибре.

При строгом соблюдении технологического режима прокатанные заготовки шаров по геометрии, качеству поверхности, по структуре и механическим свойствам удовлетворяют требованиям, предъявляемым к шарам для подшипников нормальной точности.

Освоение новой технологии прокатки заготовок шаров подшипников качения вместо горячей штамповки позволило в 2—3 раза повысить производительность. Применение горячей прокатки вместоковки заготовок для крупных шаров диаметром до 50 мм позволило в 6—7 раз уменьшить затрату труда и на 20—25% сократить расход легированной стали.

Для прокатки заготовок шаров подшипников качения разработан стан ЦКБММ-37, техническая характеристика которого приводится ниже.

Стан предназначен для прокатки заготовок шаров диаметром от 25 до 50 мм из прутков длиной до 4,5 м.

Диаметр рабочих валков, мм:

для прокатки шаров диаметром 25—44 мм 220—190
 » » » » 45—50 мм 280—300

Стан приводится электродвигателем переменного тока мощностью 156,4 л. с., 980 об/мин. Общий вес стана 26 т.

Конструкцией привода стана предусмотрено переключение на три скорости вращения валков: 75,135 и 180 об/мин. Шары малого диаметра прокатываются при скорости вращения валков 180 об/мин, а больших диаметров — при 75 об/мин. Конструкция рабочей клетки аналогична стану ЦКБММ-45. В отличие от этого стана механизм установки валков имеет ручной привод.

Нагрев прутков под прокатку производится в индукторе токами высокой частоты. Подача прутков в индуктор механизирована.

Для равномерного охлаждения прокатанных заготовок шаров стан оборудован специальным холодильником, расположенным в приемке с выходной стороны стана. Холодильник представляет собой круглый поворотный стол, состоящий из 12 секций. Днище каждой секции подвешено на шарнирах. Шары по желобу скатываются на холодильник и после наполнения одной секции холодильник с помощью пневматического цилиндра поворачивается на угол 30°; затем к желобу подходит свободная секция холодильника. При повороте холодильника роликовые опо-

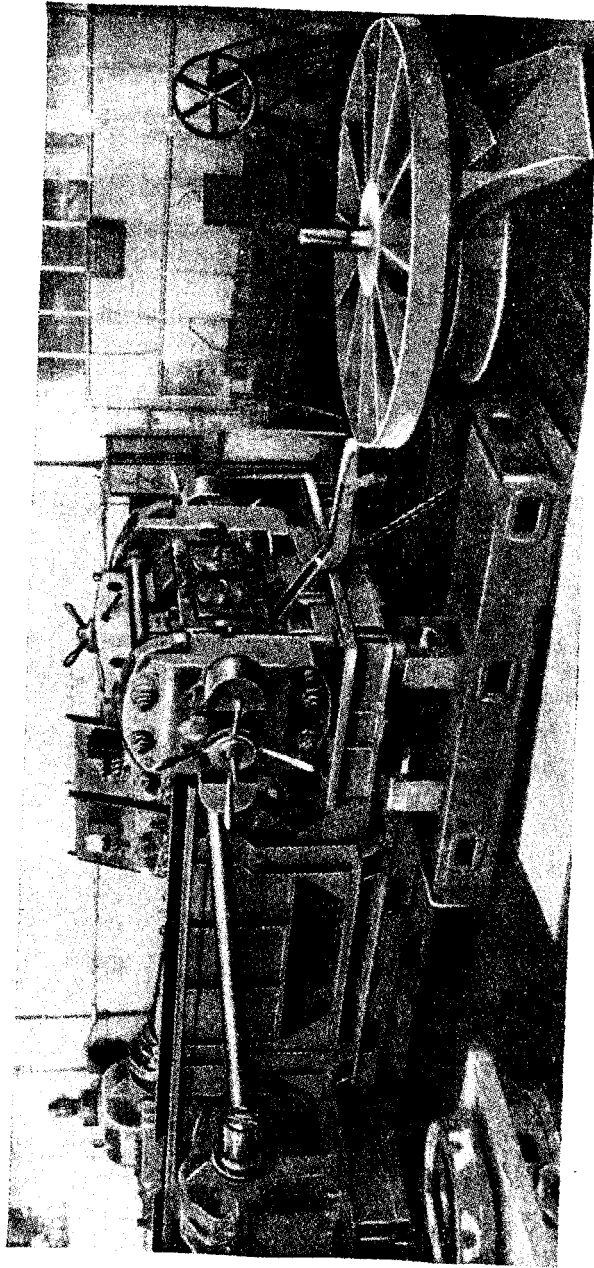


Рис. 155. Стан ЦКБММ-37 для прокатки заготовок шаров подшипников качения

ры днищ катятся по кольцевой направляющей. Когда секция холодильника подходит к приемнику, где установлен короб, шары успевают охладиться до $400\text{--}500^\circ$. В этом месте кольцевая направляющая резко снижается, вследствие чего днище открывается, и охлажденные шары скатываются по желобу в короб.

Внешний вид стана ЦКБММ-37 представлен на рис. 155.

Горячая прокатка шаров успешно конкурирует с горячей штамповкой и ковкой заготовок шаров. Однако при изготовлении шаров диаметром менее 25 мм холодная штамповка заготовок шаров эффективно может быть заменена только холодной прокаткой.

Принятая при горячей прокатке схема процесса с винтовыми калибрами неприемлема для холодной прокатки шаров сравнительно малого диаметра по следующим соображениям. При уменьшении диаметра прокатываемого шара уменьшается толщина рабочих проводок и уже при прокатке шаров диаметром 15—20 мм толщина проводок становится меньше 1 мм. Такую тонкую проводку практически использовать нельзя.

Повышенный износ проводок при холодной прокатке объясняется также значительно более высокой твердостью шаров.

Для устранения этого дефекта холодную прокатку шаров диаметром 10—25 мм можно проводить в кольцевых калибрах с переходными ребрами. Использование кольцевых калибров позволяет применить пальцевые проводки, диаметр которых приблизительно равен диаметру прокатываемого шара. В отличие от винтового калибра осевая подача осуществляется переходными ребрами, которые перемещают обжимаемую заготовку из одного калибра в другой. Таким образом, непрерывность процесса достигается благодаря наличию переходных ребер.

Условия деформации металла при холодной прокатке отличаются от горячей прокатки, вследствие чего при расчете калибровки вводятся некоторые уточнения. Если при горячей прокатке для предотвращения появления накатов на поверхности шара калибровка рассчитывается так, чтобы в начале прокатки в перемычке возникали растягивающие напряжения, то сохранение таких же условий при холодной прокатке приводит к предварительному отрыву заготовки в калибре.

С увеличением скорости вращения валков склонность к преждевременному отрыву заготовки увеличивается. Заготовки, прокатанные при более высоких скоростях (120—180 об/мин), отрываюся в калибре раньше, чем заканчивается процесс формообразования шара, вследствие чего калибр не заполняется, и прокатанная заготовка имеет приплюснутую форму. Для устранения преждевременного отрыва заготовок формирующий участок

калибра рассчитывается так, чтобы с момента захвата заготовки изменение ширины реборды соответствовало вытяжке перемычки. В этом случае в перемычке не будут возникать растягивающие напряжения и, следовательно, отрыва заготовки не будет.

Условия захвата заготовки валками при холодной прокатке шаров также значительно отличаются от горячей прокатки. Если при горячей прокатке процесс протекает нормально при скорости вращения валков до 180—200 об/мин, то при холодной прокатке проскальзывание между валками и заготовкой начинается уже при скорости вращения валков 60—80 об/мин.

Ухудшение условий захвата при холодной прокатке шаров объясняется уменьшением коэффициента трения между валками и заготовкой. В связи с этим для улучшения захвата реборды на формирующем участке калибра могут подвергаться электроискровой обработке. При этом реборды становятся шероховатыми, коэффициент трения между валком и заготовкой увеличится, и скорость вращения валков можно повысить до 100—125 об/мин. Заметных поверхностных дефектов на шарах, прокатанных на валках, подвергнутых электроискровой обработке, не наблюдается.

При холодной прокатке вследствие большого обжатия заготовки у полюсов интенсивно разогреваются, и в этих местах на поверхности шара наблюдаются цвета побежалости. Хорошие результаты дает интенсивное водяное охлаждение валков и заготовки. При этом валки почти не разогреваются, а качество поверхности прокатываемых шаров улучшается.

Однако структура металла у холоднокатаных заготовок по сечению шара неоднородна. Наблюдается также повышение твердости на поверхности заготовок с 190—200 до 260—300.

Для облегчения последующей механической обработки и выравнивания структуры холоднокатаные заготовки шаров в отличие от штампованных должны подвергаться отжигу или высокому отпуску.

Шары малых размеров (диаметром от 1 до 5 мм) прокатывают в валках с кольцевыми калибрами. Оси валков расположены вертикально. В боковом направлении прутки удерживаются направляющей втулкой (рис. 156). * За каждый оборот валков прокатывается один шарик и концевой отход, равный приблизительно половине шарика, после чего прутки под собственным весом опускается до упора. Такой способ холодной прокатки шариков находит лишь ограниченное применение при произ-

* Холодная прокатка шаров diam. 1—4 мм освоена на одном из подшипниковых заводов по предложению Г. М. Коньшина.

водстве заготовок очень малых размеров, когда расход металла не играет существенной роли.

Холодная прокатка шаров диаметром 10—20 мм в кольцевых калибрах с пальцевой проводкой успешно освоена на лабораторном стане. Применение в промышленности холодной прокатки заготовок шаров подшипников качения возможно будет только после изыскания рациональных режимов термической обра-

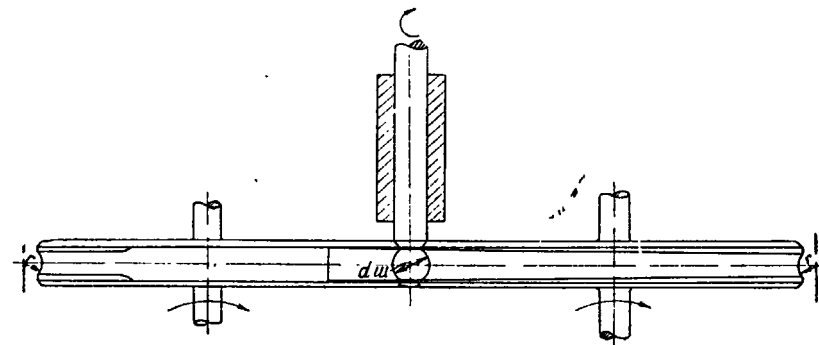


Рис. 156. Схема холодной прокатки шаров diam. 1—4 мм

ботки заготовок, а также усовершенствования калибровки валков и способа нарезки калибров. Значительно быстрее холодная прокатка шаров может быть внедрена в промышленность при производстве мелких шаров для мельниц тонкого помола горных пород, а также при производстве дробы для бурильных и дробеструйных установок.

Прокатка цилиндрических изделий

Поперечно-винтовую прокатку применяют не только при производстве шаров, но и при изготовлении цилиндрических изделий, используемых в различных отраслях техники. Так, например, для тонкого помола цемента в массовом масштабе применяют мелющие цилиндры диаметром 20—25 мм (цильпесы), изготавливаемые из чугуна и стали. Литые чугунные цильпесы имеют неправильную геометрическую форму, а отливка их весьма трудоемкий процесс. Стальные цильпесы рубят на прессах из прутковой стали, но они имеют большие заусенцы на торцах. Искажение формы цильпеса ухудшает условия помола цемента.

Прокатка цилиндрических изделий осуществляется между гладким и калиброванным валком (рис. 157). Применение такой схемы, в отличие от схемы с двумя калиброванными валками, по-

звояет значительно увеличить толщину рабочей проводки и, следовательно, повысить ее износостойкость, а также устраняет необходимость в осевой регулировке валков и сокращает расхо-

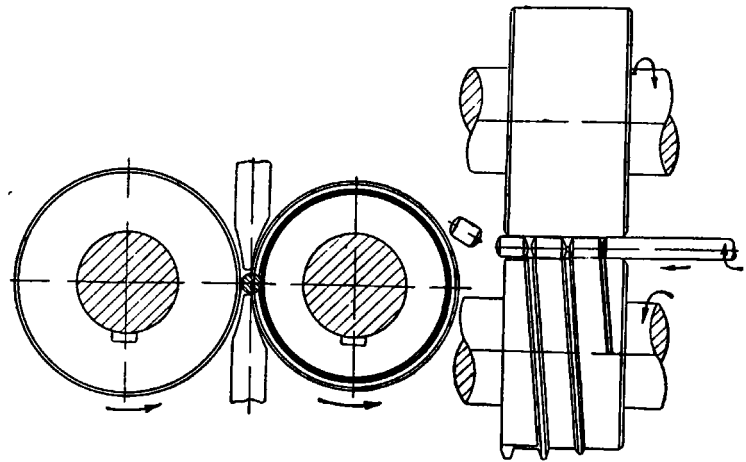


Рис. 157. Схема прокатки мелющих цилиндров и роликов

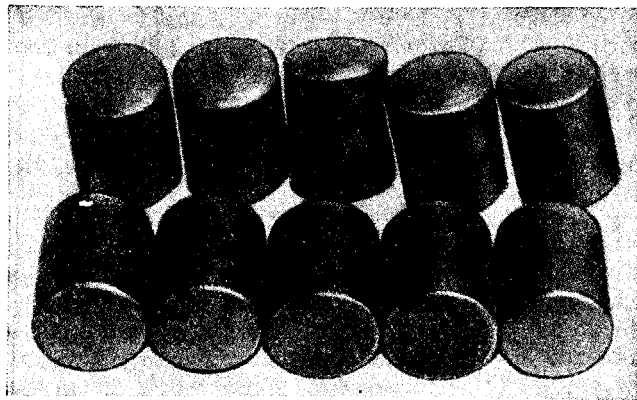


Рис. 158. Прокатанные заготовки мелющих цилиндров

ды на изготовление сравнительно дорогостоящих валков. При горячей прокатке цильпессы по выходе из стана так же, как и мелющие шары, подвергают закалке, что значительно повышает их стойкость. Прокатанные цильпессы (рис. 158) имеют правильную геометрическую форму, что способствует улучшению качества помола цемента и повышению производительности мель-

ниц. Способ поперечно-винтовой прокатки успешно может быть применен при прокатке различных цилиндрических и конических изделий и заготовок, имеющих массовое применение, что позволит значительно повысить производительность и сократить расход металла в связи со значительным сокращением или полным устранением механической обработки таких изделий.

Прокатка заготовок для кольцевых и втулочных изделий

Заготовки для кольцевых и втулочных изделий изготавливают в большом количестве на подшипниковых, велосипедных и других заводах массового производства. Существует два способа производства таких изделий: 1) точение кольцевых изделий из труб; 2) штамповка заготовок на горизонтальноковочных машинах и последующая токарная обработка их на токарных автоматах.

Первый способ применяется при производстве наружных колец подшипников, когда в отход в виде стружки идет сравнительно мало металла. Второй способ применяется при изготовлении колец и втулок, имеющих фасонный профиль по наружному контуру. Штампованные заготовки подвергают прокатке на специальных кольцепрокатных станах. Заготовкам придается требуемая конфигурация как по наружному, так и по внутреннему профилю, и, таким образом, значительно сокращаются припуски на дальнейшую механическую обработку.

Кольца и втулки диаметром 50—100 мм, имеющие фасонный профиль по наружной поверхности, изготавливаются из заготовок, штампуемых на горизонтальноковочных машинах. Существующий способ штамповки таких заготовок имеет ряд недостатков:

1) штамповка осуществляется за 3—4 операции с переносом прутка из одного ручья в другой. Поэтому процесс штамповки малопроизводителен, трудоемок и из-за сложности выполняемых операций не поддается механизации;

2) штампованные заготовки неточны по размерам и по конфигурации, не всегда соответствуют готовому изделию, вследствие чего при дальнейшей обработке много металла перерабатывается в стружку;

3) из-за наличия ударных нагрузок горизонтальноковочные машины часто выходят из строя, а штампы имеют малую стойкость. Вследствие этого горизонтальноковочные машины простаивают много времени.

Напротив, процесс прокатки отличается высокой производительностью и совершается непрерывно постепенными обжатиями между вращающимися валками. Процесс прокатки легко меха-

низируется, валки обладают большой стойкостью, а станы надежно эксплуатируются и не требуют частых ремонтов.

На лабораторных станах освоена прокатка профилированных труб, которые можно успешно использовать в качестве заготовок для кольцевых и втулочных изделий (рис. 159). Исходным металлом для прокатки служит горячекатаная сталь. Прутки нарезают на заготовки длиной 600—1000 мм, которые нагреваются в индукторе токами высокой частоты до 1250°. Нагретая заготовка подается к двухвалковому стану, где прошивается гильза, которая без промежуточного подогрева направляется к формо-



Рис. 159. Профилированная трубная заготовка для втулок

вочному стану. Через гильзу продевается оправка, и она вместе с оправкой задается в валки формовочного стана. На бочках валков нарезаны винтовые калибры, с помощью которых так же, как и при прокатке шаров, формуется заготовка. Профильную трубу обжимают между калиброванными валками и оправкой. Процесс прокатки можно вести на закрепленной в осевом направлении и на плавающей оправке. В первом случае прокатанные заготовки, соединенные между собой кольцевыми перемычками, постепенно сползают с оправки и в дальнейшем могут отделяться одна от другой.

При прокатке заготовок, имеющих тонкие ребра, применение неподвижных оправок приводит к затормаживанию заготовок в валках и к срыву слоев металла с их наружной поверхности. Прокатка таких заготовок осуществляется на плавающей оправке. Оправка продевается через гильзу и вместе с ней проходит через очаг деформации. После того, как прокатанная труба полностью вышла из валков, оправка извлекается из нее с помощью специального устройства, затем они охлаждаются, смазываются и снова подаются к стану. Прокатанные трубы охлаждаются и затем подвергаются дальнейшей механической обработке. В ЦКБММ разработана конструкция первого опытно-промышленного агрегата для прокатки профилированных трубных заготовок диаметром 60 мм. Стан предназначается для прокатки заготовок втулок велосипеда.

Агрегат состоит из нагревательного устройства, в котором заготовки нагреваются током высокой частоты; пневматического

зацентрировщика; прошивного стана, работающего на несмещаемой оправке; трехвалкового формовочного стана, на котором осуществляется прокатка профилированной трубы на оправке; устройства для извлечения оправки из прокатанной трубы; ванны для охлаждения оправок и рольганга, с помощью которого осуществляется транспортировка оправок к приемному желобу стана.

Вся работа на агрегате полностью механизирована и может быть автоматизирована. Производительность такого агрегата от 10 000 до 14 000 заготовок втулок за смену. Прокатанные заготовки имеют форму, близкую к готовой втулке, что позволяет уменьшить расход металла на 25—30%. Новый способ прокатки может найти широкое применение при производстве заготовок колец подшипников качения и других профильных кольцевых и втулочных изделий.

4. ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ СТАНОВ ДЛЯ ПРОКАТКИ ШАРОВ

В электрооборудовании станов для прокатки шаров целесообразно рассмотреть отдельно главный привод и привод вспомогательных механизмов.

Главный привод стана имеет длительный режим работы. В зависимости от диапазона размеров шаров, прокатываемых на данном стане, для более полного его использования целесообразно иметь регулирование скорости стана при постоянной мощности. Однако применение двигателей постоянного тока с регулированием скорости изменением возбуждения часто является экономически нецелесообразным, поэтому могут быть рекомендованы два решения с приводом на переменном токе: 1) вращение валков с постоянной скоростью в соответствии с освоенными скоростями прокатки (выбор скорости производится по наиболее часто применяемому сортаменту); 2) изменение скорости вращения валков переключением шестерен в редукторе или замены шкивов при текстурной передаче (рис. 160). Такое регулирование в настоящее время широко применяется в приводах аналогичного назначения, например в главных приводах прошивных станов трубопрокатного агрегата. Естественно, что на усложнение передачи следует идти в том случае, когда сортамент прокатываемой продукции достаточно широк.

Управление главным приводом не имеет какой-либо специфики и осуществляется с помощью обычных типовых магнитных станций для приводов с длительным режимом работы. Вследствие этого схема управления главным приводом нами не приводится.

Привод вспомогательных механизмов шаропрокатных станов

представляет интерес с точки зрения управления, так как на станках последних конструкций предусмотрена полная комплексная автоматизация процесса прокатки.

Автоматическую работу рассмотрим на примере стана ЦКБММ-29 для шаров диаметром 25 мм с двумя возможными вариантами нагрева: контактным и индукционным.

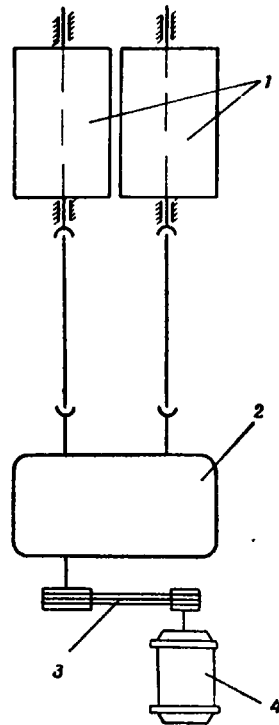


Рис. 160. Кинематическая схема главного привода шаропрокатного стана:
1 — рабочие валки; 2 — шестеренная клетка и редуктор ($L = 3,79$); 3 — текстроп ($i = 2; 1,32; 1,25; 1,1$); 4 — пары сменных шкивов; 5 — двигатель АО-93-8,40 кет, 730 об/мин

Заготовки, подлежащие прокатке, загружаются в бункер 1, откуда они по одной, с помощью дозатора 2 с пневматическим приводом 3, выдаются на решетку 4, по которой скатываются на неподвижные губки 5 контактного нагрева, задевая при этом контактную щетку 13 (рис. 161). Здесь заготовки зажимаются верхними подвижными губками 6 с помощью гидравлического цилиндра 7. Правые губки (верхняя и нижняя) имеют незначительное горизонтальное перемещение для компенсации линейного расширения заготовки при нагреве. После нагрева заготовка

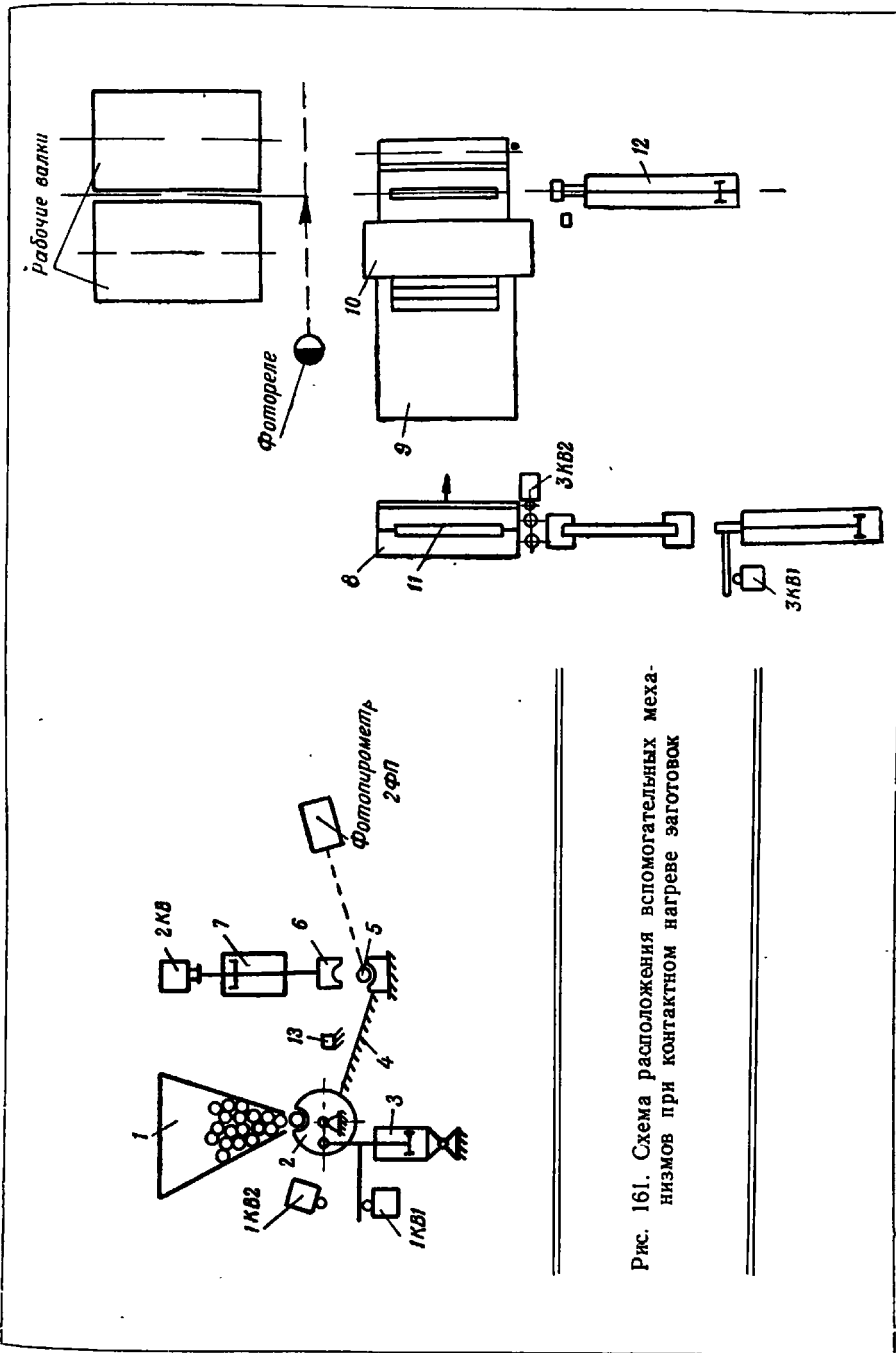


Рис. 161. Схема расположения вспомогательных механизмов при контактом нагреве заготовок

выталкивается пневматическим толкателем в качающийся желоб 8, который переносит их на наклонную решетку 9, ведущую в приемный желоб стана.

Приемный желоб стана откидной, что позволяет недостаточно нагретые или искривленные заготовки выбрасывать в карман для брака.

Все механизмы, начиная с качающегося желоба, имеют пневматический привод. Управление механизмами стана может производиться с пульта управления или со щитка, расположенного непосредственно на стане. Управление с пульта может осуществляться как при ручном, так и при автоматическом режиме. Со щитка стан запускается и останавливается только при автоматическом режиме.

Ручное управление всеми механизмами производится с помощью универсальных переключателей. Если стан работает в автоматическом режиме, то ручное вмешательство в работу любого механизма приводит к прекращению автоматического цикла. Исключение составляют кнопки управления на щитке, с помощью которых заготовка 11 может быть повторно задана в стан, если с первого удара толкателя 12 не было захвата, или сброшена в брак с помощью откидного желоба.

Для создания определенного темпа выдачи заготовок, в соответствии с временем прокатки одной заготовки, в схему введен узел так называемого регулятора темпа. Отсчет времени регулятора производится электронным реле времени. Ввиду того что возможно застревание заготовок в бункере, за дозатором установлен щеточный контактный датчик, который фиксирует прохождение заготовки после хода дозатора. О зажатии заготовки в губках контактов сигнализирует реле давления гидропривода. О достижении требуемой температуры сигнализирует фотоэлектрический пирометр.

При разжиге губок замыкается контакт конечного выключателя, который переключает вентили пневматического толкателя, выталкивающего заготовку в качающийся желоб. В начале хода толкателя заготовка воздействует на конечный выключатель, который по прохождении заготовки будет отпущен. В конце хода качающегося желоба разрываются контакты конечного выключателя, воздействующие на перекидной желоб.

Для контроля температуры заготовки перед прокаткой у желоба стана установлен фотопирометр. При входе в валки заготовка освещает направленный в желоб фотоимпульсатор.

Если в желоб стана попадет недостаточно нагретая заготовка, выходное реле фотопирометра за время выдержки не срабатывает.

При индукционном нагреве конструкция механизмов стана несколько меняется. Их кинематика в таком варианте представлена на рис. 162. Из бункера 1 заготовки выдаются дозатором в желоб 2, откуда толкателем 3 они затапливаются в индуктор 4 нагретой заготовки. Одновременно эта установка для высокочастотного нагрева.

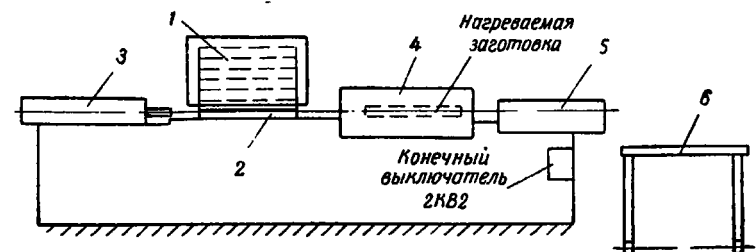


Рис. 162. Схема расположения механизмов при индукционном нагреве заготовок

Заготовка выталкивается из индуктора уже нагретую, которая попадает в вытаскиватель 5. Отсюда заготовка подается в качающийся желоб 6, а последний передает ее в желоб стана.

Глава III

ПРОКАТКА ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС И ПОДОБНЫХ ИМ ИЗДЕЛИЙ

В настоящее время изготовление цилиндрических и конических зубчатых колес и подобных им изделий (например, винтов с крупной резьбой, ребристых труб и т. п.) производится главным образом путем удаления металла из заготовки режущим инструментом (метод фасонного фрезерования, протяжка и нарезка зубьев специальными резцовыми головками). Несмотря на достигаемую при этом высокую точность, например при изготовлении шестерен, подобный метод их изготовления отличается высокой трудоемкостью, переводом большого количества металла в стружку и требует применения сложного станочного оборудования и дорогостоящего инструмента. Кроме того, производительность металлорежущего оборудования при изготовлении зубчатых шестерен для массового крупносерийного производства является сравнительно низкой, а стоимость шестерен довольно высокой.

Огромная потребность многих отраслей промышленности в различных видах зубчатых шестерен способствовала развитию и совершенствованию станков для нарезки зубьев. Однако, несмотря на это, производительность металлорежущих станков, обрабатывающих шестерни, увеличилась за последние 30 лет всего лишь примерно в 1,5 раза.

В связи с этим в Советском Союзе интенсивно разрабатываются и внедряются на отечественных заводах новые прогрессивные методы производства зубчатых шестерен, с помощью которых образование профиля зубьев на шестернях происходит не за счет резания металла, а путем его выдавливания в процессе пластической деформации, осуществляемой при обкатке металла специальным инструментом.

Наряду со снижением трудоемкости изготовления шестерен и увеличением производительности новые методы обработки обеспечивают также повышение качества зубчатых передач, так как в процессе пластической деформации волокна металла не перерезаются, что приводит к значительному повышению износостой-

кости зубьев. Последнее обстоятельство, весьма важное для повышения эксплуатационных характеристик зубчатого зацепления, объясняется тем, что образование профиля зубьев осуществляется пластическим деформированием поверхностного слоя металла, волокна которого при этом не перерезаются, а изгибаются по конфигурации зуба; металл уплотняется и приобретает повышенную механическую прочность и твердость.

Идея изготовления зубчатых колес путем пластической деформации, без снятия стружки, возникла 40—50 лет тому назад. Однако и в настоящее время, несмотря на значительное развитие и совершенствование существующих способов изготовления зубчатых колес, разработка новых высокопроизводительных методов изготовления шестерен является весьма актуальной.

Разработка новых способов изготовления зубчатых колес ведется по трем основным направлениям: накаткой зубьев между рейками, применением роликовых протяжек и использованием валковых прокатных станков. Первые два способа обладают рядом существенных недостатков по сравнению с третьим способом. Главными из этих недостатков являются меньшая универсальность указанных двух способов производства шестерен и высокая стоимость инструмента. Накатные машины с рейками могут быть применены для накатки сравнительно небольших шестерен (диаметром до 200 мм). Для шестерен большего диаметра длина реек и их ход требуются настолько большими, что конструкция машины становится громоздкой, а рейки, являющиеся сменным инструментом, слишком дорогими. При изготовлении шестерен протягиванием стоимость инструмента также очень высока, так как для каждого размера шестерен должен быть применен свой инструмент.

Прокатные станы, имеющие в качестве инструмента валки, пригодные для изготовления шестерен любого размера при данном модуле, не обладают этими недостатками.

Из всех предложенных способов изготовления зубчатых колес путем пластической деформации наибольшее применение в промышленности получил способ изготовления зубчатых колес на прокатном стане методом поперечной прокатки, предложенный инж. С. В. Воробьевым¹. Этот способ заключается в основном в том, что нагретая до температуры прокатки цилиндрическая заготовка помещается между двумя вращающимися валками, имеющими форму зубчатых колес. Заготовке дается принудительное вращение с определенной скоростью, соответствующей передаточному числу между валком и шестерней, а затем происходит сближение валков, чем достигается формообразование зубьев. При сближении валков их зубья углубляются в заготовку и обра-

¹ Авторское свидетельство № 71454.

зуют впадину зуба в прокатываемой шестерне. Вытесняемый зубом валка металл течет во впадину валка и образует зуб прокатываемой шестерни. Полученные на заготовке зубья, обкатываясь в зацеплении с зубьями валков, получают нормальный эвольвентный профиль.

Процесс прокатки шестерен аналогичен зацеплению зубчатой передачи, где одним элементом зацепления является прокатываемая шестерня, а вторым — рабочий валок стана. Чтобы приблизить условия прокатки заготовки в валках к условиям нормально работающего зубчатого зацепления, на стане установлены делительные приспособления, сообщаящие заготовке в процессе прокатки принудительное вращение с окружной скоростью, равной окружной скорости валков. Равенство окружных скоростей заготовки и валков является необходимым условием для деления окружности заготовки на заданное число зубьев в начале прокатки.

Длительные экспериментальные исследования, проведенные во ВНИИМЕТМАШ под руководством А. Д. Кузьмина на специальном опытном стане, показали возможность осуществления этого процесса прокатки зубчатых шестерен. Шестерни, прокатанные на стане, соответствуют третьему классу точности. Их усталостная прочность оказалась почти в 1,5 раза выше, чем фрезерованных.

В результате исследования опытного стана был спроектирован и построен промышленный стан для прокатки цилиндрических шестерен с модулем до 4 мм, применяемых при изготовлении электробуров. Проект этого стана был выполнен во ВНИИМЕТМАШ инж. Л. Д. Взнуздаевым под руководством канд. техн. наук А. Д. Кузьмина¹, а изготовлен заводом «Красный металлист». В настоящее время этот стан находится в промышленной эксплуатации и прокатывает шестерни с модулем 3—4 мм диаметром до 250 мм (рис. 167). На стане освоена прокатка косозубых шестерен для ручного и колонкового электробуров с модулем 1,5; 1,75; 2; 3 и 4 мм, диаметром от 24 до 135 мм и более из стали 40ХН².

В результате промышленной эксплуатации выявились следующие преимущества стана. Среднее число шестерен, прокатываемых на стане (180—500 шт/час) превосходит производительность зубофрезерных станков в 25—70 раз; средняя стойкость валков составляет от 3000 до 5000 шт. готовых шестерен.

Стоимость прокатанных шестерен на заводе «Красный метал-

¹ Авторское свидетельство № 91433.

² Освоение процесса прокатки проводилось под руководством инж. П. П. Бардзиловича, канд. техн. наук А. Д. Кузьмина и канд. техн. наук М. В. Васильчикова.

лист» ниже стоимости фрезерованных шестерен на 20%. Шестерни устанавливаются в машины без дополнительной механической обработки зубьев.

Второй промышленный стан, спроектированный ВНИИМЕТМАШ для прокатки цилиндрических шестерен с модулем до 10 мм, установлен на Челябинском тракторном заводе. На этом стане производится предварительная прокатка зубьев.

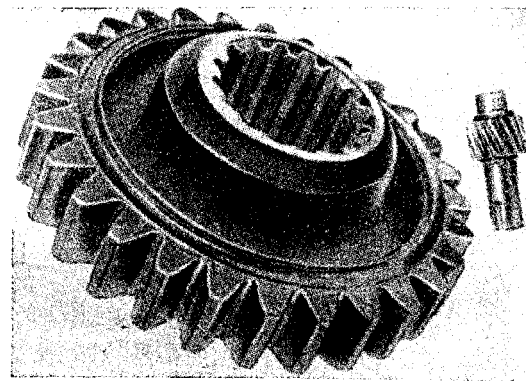


Рис. 162. Цилиндрические шестерни, изготовленные методом горячей прокатки

шестерен с модулем 7 мм под окончательную механическую обработку. Применение прокатки позволяет экономить на каждой шестерне примерно 13% стали 20ХН3А, что дает экономию около 300 000 руб. в год. Кроме этого, повышаются механические свойства зубьев по сравнению с фрезерованными.

Положительные результаты получены при внедрении способа прокатки цилиндрических шестерен также на Харьковском тракторном заводе (ХТЗ). Применение прокатки вместо зубофрезерования на ХТЗ повысило производительность примерно в 10 раз. Точность прокатанных шестерен после дополнительной холодной обкатки на этом же стане повышается до второго класса точности, стоимость операции прокатки значительно ниже стоимости зубофрезерования.

Опыт заводов, применяющих прокатку цилиндрических шестерен, свидетельствует о высокой производительности и экономичности данного способа и целесообразности его применения для изготовления других аналогичных изделий. В первую очередь к таким деталям следует отнести конические шестерни с прямым и спиральным зубом.

Изготовление конических шестерен на зуборезных станках — весьма трудоемкий процесс, связанный с использованием дорогостоящего оборудования. Поэтому применение высокопроизводительного и дешевого способа прокатки для изготовления конических шестерен является исключительно выгодным, особенно при изготовлении крупномодульных шестерен. В настоящее время способ прокатки конических шестерен разработан во ВНИИМЕТМАШ и построен опытный стан для горячей прокат-

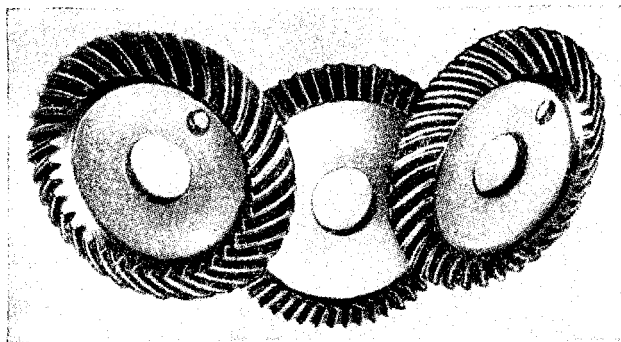


Рис. 164. Конические шестерни, изготовленные прокаткой

ки конических шестерен с модулем до 4,5 мм*. Прокатанные конические шестерни показаны на рис. 164.

На стане предусмотрена возможность всестороннего исследования процесса прокатки шестерен. Стан оборудован универсальной установкой для нагрева заготовок токами высокой частоты. Вращение валков и заготовки осуществляется от регулируемого электродвигателя постоянного тока. Изменение скорости сближения валков и заготовки производится с помощью коробки скоростей. Для одновременного согласованного перемещения кареток валков и заготовки на стане предусмотрены сменные шестерни, которые кинематически связывают винты, осуществляющие перемещение кареток. Накатные валки закрепляются на стане консольно, что обеспечивает их быструю и удобную смену. Для предотвращения бокового течения металла при прокатке применяются ограничительные диски.

М. В. Барбаричем на данном стане выполнено исследование процесса прокатки конических шестерен и отработана технология изготовления шестерен, удовлетворяющих требованиям производства. Определены силовые параметры процесса и условия

* Авторы: А. Д. Кузьмин, М. В. Васильчиков и М. В. Барбарич. Авторское свидетельство № 554632/25.

получения качественных конических шестерен; разработана методика калибровки валков и другие элементы технологии процесса прокатки конических шестерен с прямыми и спиральными зубьями.

На основе этих исследований во ВНИИМЕТМАШ спроектирован промышленный стан для прокатки конических шестерен с модулем до 12 мм, применяемых в угольных комбайнах. Предварительные расчеты показали, что один прокатный стан при его загрузке на 40% будет полностью удовлетворять потребность Горловского машиностроительного завода в конических шестернях для угольных комбайнов и может заменить шесть зубофрезерных станков, работающих в две смены. Применение прокатанных шестерен позволит повысить работоспособность угольных комбайнов за счет более высоких механических качеств прокатанных шестерен по сравнению с фрезерованными.

Уровень развития и применения в промышленности способа прокатки шестерен за границей значительно ниже, чем в Советском Союзе. По имеющимся данным, в других странах еще нет станков для прокатки шестерен. Некоторые фирмы используют способ прокатки для изготовления в холодном состоянии мелко-модульных шестерен, рифов и шлицев. В ГДР недавно разработан метод штамповки конических шестерен (метод лауреата Национальной премии Чемпила), однако он по производительности значительно уступает методу прокатки, разработанному в нашей стране.

Кроме указанных выше процессов образования зубчатых поверхностей на цилиндрических и конических шестернях путем пластической деформации, во ВНИИМЕТМАШ канд. техн. наук М. В. Васильчиковым разработаны технологический процесс и оборудование для поперечно-винтовой холодной и горячей накатки одно- и многозаходных трапецеидальных и других специальных резьб с крупным шагом, имеющей также большие перспективы широкого применения в промышленности взамен обработки резанием. В этом процессе оси накатных роликов наклонены по отношению к оси накатываемой детали, а межцентровое расстояние между накатными роликами в процессе прокатки сохраняется постоянным. Заготовка задается в осевом направлении, захватывается вращающимися роликами и получает вращательно-поступательное движение, удерживаясь между роликами при помощи проводок. Спроектирован специальный механизированный стан для поперечно-винтовой накатки деталей с крупной резьбой, позволяющий производить резьбовые детали с наружным диаметром от 16 до 100 мм при длине до 1200 мм и наибольшем шаге накатываемой резьбы 8 мм.

На рис. 165 показаны образцы изделий с крупной резьбой, прокатанные на опытной установке ВНИИМЕТМАШ.

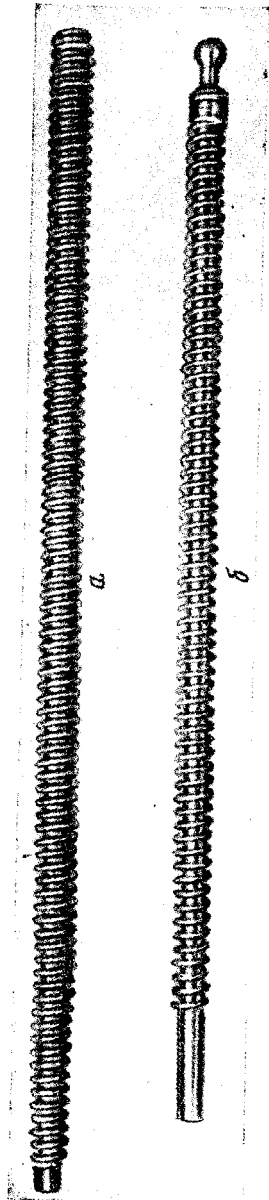


Рис. 165. Винт домкрата автомобиля «Москвич», изготовленный путем прокатки.
а — прокатанная заготовка; б — готовый винт

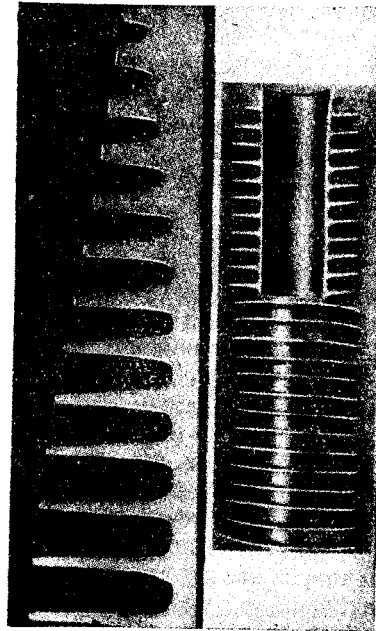


Рис. 166. Ребристые трубы, изготовленные путем прокатки

Особенностью прокатной резьбы является сильно уплотненная и ориентированная по профилю структура металла, что обеспечивает более высокую, чем при фрезеровании, грузоподъемность и износостойкость резьбы. Накатка резьбы сопровождается, кроме того, значительной экономией металла, переходящего в стружку при зубофрезеровании. Эта экономия составляет от 16 до 25% в зависимости от размеров резьбы. Накатка резьбы по методу ВНИИМЕТМАШ является непрерывным процессом, при установившемся режиме которого вспомогательное время может быть сведено к нулю. Процесс накатки обеспечивает получение резьбы по 2-му классу точности.

Одним из основных элементов различного рода теплообменных аппаратов являются ребристые трубы (рис. 166).

Существующая технология изготовления теплообменных ребристых элементов обычно весьма трудоемка и неэкономична, и их качество не удовлетворяет требованиям конструкторов теплообменных аппаратов.

Наиболее рациональной конструкцией теплообменных элементов являются прокатанные трубы, наружная поверхность которых имеет форму спиральных тонких ребер, образованных из металла самой трубы. Ребристые трубы данного типа обладают наибольшей теплообменной способностью, отличаются высокой механической прочностью и позволяют применять более высокую рабочую температуру, определяемую стойкостью металла самой ребристой трубы, а не стойкостью металла припоя, как в случае изготовления тонких труб путем припайки ребер к поверхности обычной круглой трубы.

Процесс прокатки ребристых труб, разработанный во ВНИИМЕТМАШ инж. Ф. П. Кирпичниковым, заключается в том, что цилиндрическая труба-заготовка захватывается тремя профилированными принудительно вращающимися валками и в процессе прокатки получает вращательно-осевое перемещение с обжатием на свободной или закрепленной оправке. В процессе прокатки удается достигнуть значительного утонения ребер и увеличения наружного диаметра трубы. В зависимости от пластических свойств металла заготовки прокатку труб практически любой длины проводят в холодном или горячем состоянии на трех-валковом стане поперечновинтовой прокатки.

По сравнению с существующими способами изготовления ребристых труб прокатка их дает повышение производительности в 5—15 раз и более и соответствующее снижение затрат труда и себестоимости.

Ниже на основе работ, выполненных во ВНИИМЕТМАШ, приводятся характеристики вышеуказанных технологических процессов.

1. ПРОКАТКА ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС

Схема процесса и конструкция стана

Существует два варианта процесса прокатки зубчатых венцов: прокатка из штучной заготовки и прокатка из прутковой заготовки. В первом случае заготовка в виде плоского диска устанавли-

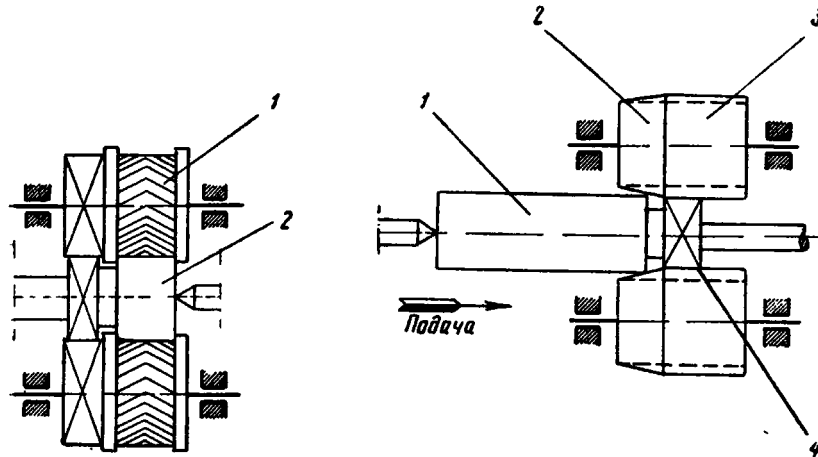


Рис. 167. Схема штучной прокатки венцов шестерен:
1 — чистовой валок; 2 — заготовка

ливается между двумя калиброванными валками, ширина которых равна ширине прокатываемой шестерни, причем в процессе прокатки валки сближаются (рис. 168). Заготовка зажимается между двумя головками суппорта. Суппорт стана располагается между двумя зубчатыми валками, имеющими модуль зацепления, равный модулю прокатываемой шестерни. Заготовка, зажатая в суппорте, нагревается токами высокой частоты. После нагрева заготовки на сравнительно небольшую глубину валкам сообщается вращение и одновременно они сближаются. Заготовка также приводится во вращение от специального делительного механизма с числом оборотов, соответствующим передаточному числу между прокатываемой шестерней и валками. Валки, сближаясь, обжимают заготовку, вытесняя металл из впадин в головку зуба, и постепенно образуют форму зубчатого венца. Для получения симметричного профиля зуба направление вращения валков в процессе прокатки реверсируется.

Во втором случае (рис. 167) заготовка, представляющая со-

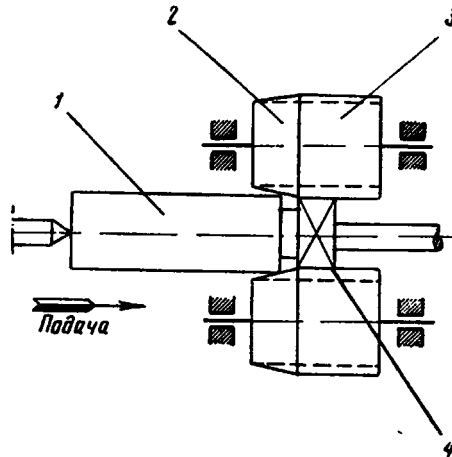


Рис. 168. Схема прутковой прокатки венцов шестерен:
1 — заготовка; 2 — заборная часть валка; 3 — калибрующая часть валка; 4 — делительная шестерня

бой несколько отдельных дисков, сложенных стопкой, или же пруток, устанавливается в центрах суппорта. При этом верхний центр суппорта выполняется заодно с делительной шестерней, имеющей такое же число зубьев и модуль, как и прокатываемая шестерня. В начале прокатки заготовку устанавливают так, чтобы ее верхняя торцовая часть была на уровне кольцевого нагревательного индуктора, расположенного под валками. Делительная шестерня в это время находится в зацеплении с валками и при их включении приводит во вращение заготовку. После нагрева заготовки включается механизм подачи и заготовка поступает в валки. Для облегчения захвата заготовки входная часть рабочих валков имеет конусную форму, так называемый «заборный» конус. Диаметр заготовки для шестерен устанавливается опытным путем, и он должен быть близок к диаметру делительной окружности прокатываемой шестерни. Прутковый метод прокатки может быть применен только для изготовления прямозубых и косозубых цилиндрических шестерен.

Шестерня, полученная прокаткой из штучной заготовки, представляет собой шестерню заданных размеров по диаметру и по длине зуба, но с небольшими заусенцами на торцовых поверхностях. Из прутка прокатывают цилиндрическую заготовку с зубьями по всей ее длине, которую затем разрезают на отдельные шестерни. Если отдельные диски прокатывались сложенными стопкой, то при снятии их со стопы они легко отделяются друг от друга, распадаясь на несколько отдельных цилиндрических шестерен.

Соответственно двум указанным методам прокатки шестерен применяются валки различной формы. Для прокатки из штучной заготовки валки состоят из двух комбинированных шестерен и четырех ограничительных дисков, образующих реборды. Для прокатки из «прутковой» заготовки применяются валки, представляющие собой шестерни, которые, как это уже было отмечено, имеют конусную часть, служащую для захвата заготовки и постепенного образования зуба.

На рис. 169 приведена кинематическая схема стана для прокатки шестерен. Шестеренная клетка 1 имеет три шестерни, две из которых приводят во вращение рабочие валки 2 и одна (средняя) — прокатываемую заготовку 3. Следует отметить, что возможна прокатка шестерен и без принудительного вращения заготовки; в этом случае средний шпиндель отсоединяется от шестеренной клетки. В случае прокатки штучной заготовки последняя зажимается в центрах специального установочного механизма 4. При прокатке шестерен из прутковой заготовки вместо этого механизма устанавливается другой механизм 5, который не только зажимает заготовку, но и продвигает ее вдоль продольной оси валков.

Общий вид этого механизма показан на рис. 170.

Стан рассчитан на прокатку штучных заготовок диаметром от 30 до 180 мм, шириной 30 мм и прутковых заготовок длиной до 200 мм. Наибольший модуль прокатываемых шестерен — 3 мм. Число оборотов валков регулируется в пределах от 20 до 375 в минуту, что достигается изменением скорости вращения шунтового двигателя и переключением коробки скоростей 6 редуктора, имеющего привод от электродвигателя мощностью 10 кВт, через клиноременную передачу 7 (рис. 169).

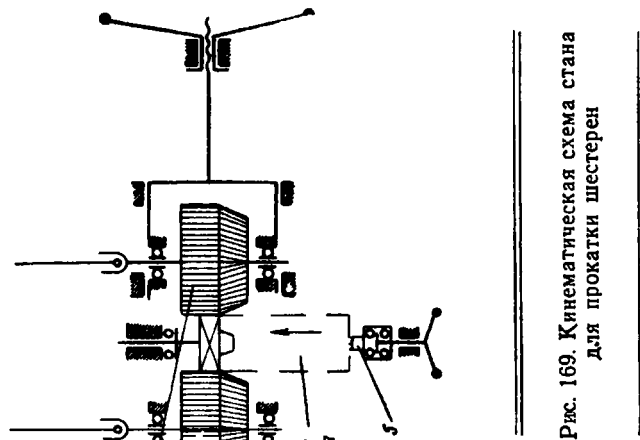


Рис. 169. Кинематическая схема стана для прокатки шестерен

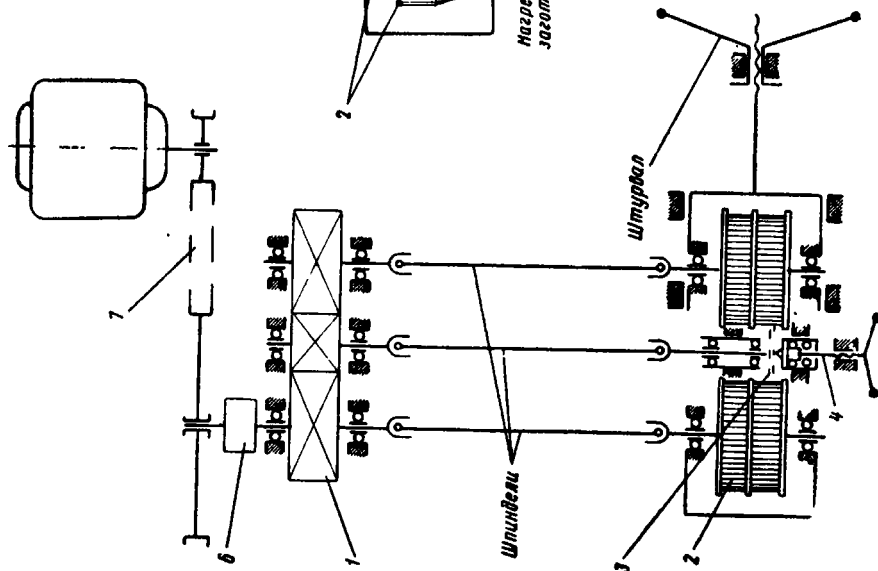
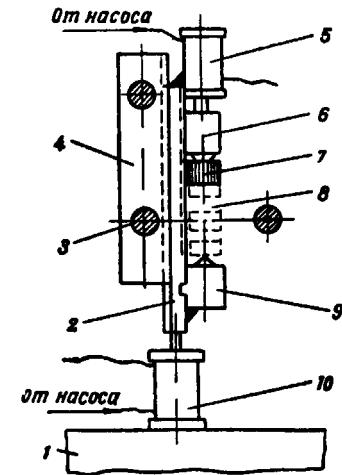


Рис. 170. Схема зажима и осевой подачи заготовки:

1 — станина; 2 — ползун; 3 — ходовой винт; 4 — неподвижная рама; 5 — цилиндр гидропривода зажима заготовки; 6 — подвижная бабка; 7 — делительная шестерня; 8 — стопка заготовок; 9 — неподвижная бабка; 10 — цилиндр гидропривода осевой подачи заготовки



Рабочая клетка стана имеет два валка, из которых каждый состоит из двух шестерен — черновой и чистовой. Валки покоятся в подушках; одна подушка установлена неподвижно, а другая передвигается нажимным винтом. Для установки зубьев одного валка в определенное положение по отношению к зубьям другого одна подушка имеет возможность перемещаться на некоторую величину в вертикальном направлении.

При указанной схеме устройства прокатного стана валки данного модуля могут прокатывать шестерни любого размера в пределах технической возможности стана. При изменении диаметра прокатываемой шестерни меняется только средняя делительная шестерня шестеренной клетки.

На таком стане были проведены опытные работы, подтвердившие полную возможность изготовления шестерен путем прокатки.

Элементы теории процесса прокатки цилиндрических зубчатых колес

В фундаментальных исследовательских работах, выполненных А. Д. Кузьминым, определены кинематические соотношения процесса поперечной прокатки цилиндрических зубчатых колес и установлены формулы для расчета силовых воздействий на прокатные валки.

Ниже приводятся основные зависимости, характеризующие данный процесс прокатки, заимствованные из работ А. Д. Кузьмина.

Кинематические соотношения процесса прокатки зубчатых колес. Заготовка вращается принудительно посредством делительного механизма с таким числом оборотов, которое имела бы готовая шестерня, находящаяся в зацеплении с валками.

Число оборотов и угловая скорость заготовки определяются следующими соотношениями:

$$n_2 = n_1 i;$$

$$\omega_2 = \omega_1 i,$$

где n_1, n_2 — число оборотов валков и шестерен, мин.

ω_1, ω_2 — угловая скорость валков и шестерни;

$i = \frac{d_{01}}{d_{02}} = \frac{z_1}{z_2}$ передаточное число от валка к шестерне;

d_{01}, z_1 — диаметр начальной окружности и число зубьев валка;

d_{02}, z_2 — диаметр начальной окружности и число зубьев шестерни.

Для выяснения направления и величины деформации в момент внедрения зубьев прокатных валков в тело заготовки, исходя из схемы, представленной на рис. 171 (когда после образования на заготовке зуба на некоторую высоту, соответствующую подаче Σh , валок подан еще на величину h), А. Д. Кузьмин определил относительные скорости перемещения зубьев валка по отношению к заготовке в зоне деформации.

Им получена следующая формула для определения s — тангенциального смещения металла, производимого каждым зубом при повороте валка на угол захвата α_1 :

$$s = \frac{m}{2} (z_1 + 0,4i) \alpha_1 - \frac{m}{2(1+i)} \left(z_1 + 0,4i - \frac{2\Sigma hi}{m} \right) \alpha_1 (1+i) = \alpha_1 i \Sigma h, \quad (101)$$

где m — модуль зацепления;

Σh — величина подачи валков (обжатие).

Главным направлением деформации, по которому происходит относительное смещение металла заготовки при поперечной прокатке, является направление по радиусу валка. За весь цикл прокатки шестерни перемещение заготовки относительно зубьев валка в этом направлении происходит на величину подачи валка, т. е. на Σh ; наибольшее значение Σh равно 1,4 m .

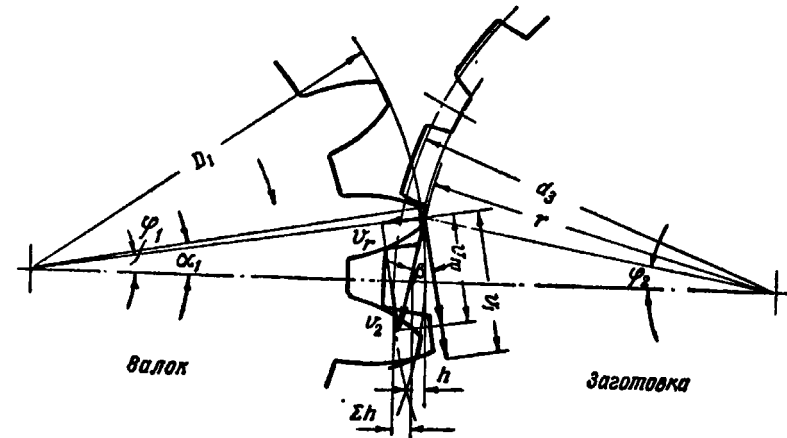


Рис. 171. Окружные скорости валка и заготовки при прокатке шестерен (А. Д. Кузьмин)

Угол захвата и обжатие. Зависимость между углом захвата α_1 и обжатием h определена А. Д. Кузьминым в следующем приближенном виде:

$$\alpha_1 = 2 \sqrt{\frac{h}{D_1(1+i)}}, \quad (102)$$

где D_1 — наружный диаметр валка.

Величина дуги захвата l для данного случая поперечной прокатки

$$l = \sqrt{\frac{hD_1}{1+i}}. \quad (103)$$

Угол захвата по формуле (103) может быть определен только в начале процесса прокатки, пока высота накатанных на заготовке зубьев невелика. При полной высоте зубьев формула (103) дает меньший угол, чем это имеет место в практических условиях прокатки.

На рис. 172 изображена шестерня с полным зубом при обжатии его на величину h . Зуб шестерни встречается с зубом валка около точки, лежащей на продолжении линии зацепления AB .

С этого момента начинается обжатие зуба шестерни и оно происходит до тех пор, пока валок не повернется на угол β_1 ; точка касания зубьев при этом переместится по линии зацепления от точки C в точку B . При дальнейшем повороте валка, хотя касание зубьев продолжается, обжатие их уже не происходит.

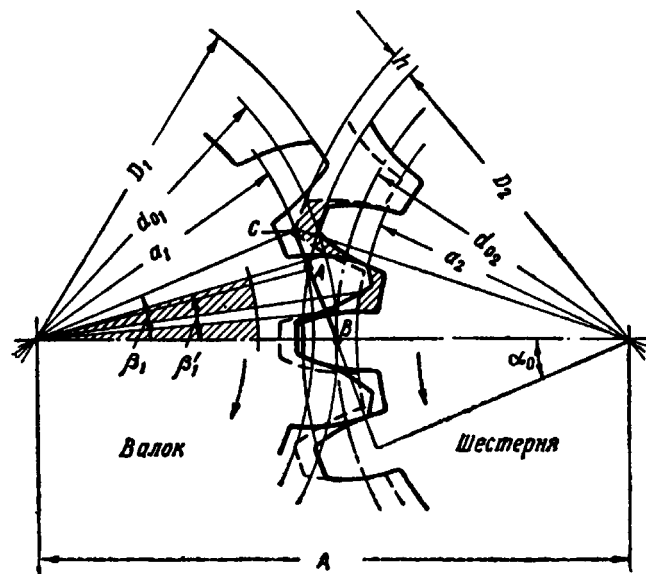


Рис. 172. Определение угла захвата валков при полной высоте зубьев прокатываемой шестерни (А. Д. Кузьмин)

Угол β_1 может быть определен по формуле

$$\beta_1 = \frac{\sqrt{(D_2 + 2h)^2 - d_2^2} - d_{02} \cdot \sin \alpha_0}{d_1}, \quad (104)$$

где D_2 — диаметр по вершинам зубьев прокатываемой шестерни;
 d_2 — диаметр основной окружности шестерни;
 α_0 — угол зацепления.

Так как при расчете важно знать наибольшую нагрузку на валок, то нет необходимости определять промежуточные значения давления металла на валки и отвечающие им значения промежуточных углов захвата.

Обжатие h обычно выражается в долях миллиметра и величина $2h$ в формуле (104) является очень малой по сравнению с D_2 , поэтому ею можно пренебречь. Кроме того, при угле α_0 , равном 20° ,

$$d_1 = d_{01} \cdot \cos \alpha_0 = 0,94d_{01};$$

$$d_2 = d_{02} \cdot \cos \alpha_0 = 0,94d_{02};$$

$$\sin \alpha_0 = 0,34,$$

поэтому

$$\beta_4 = \frac{\sqrt{D_2^2 - 0,88d_{02}^2 - 0,34d_{02}}}{0,94d_{01}}. \quad (105)$$

Площадь соприкосновения валков с заготовкой или контактная площадь определяется по формулам

$$F_n = \frac{D \alpha h}{2}$$

для начального периода прокатки и

$$F_k = \frac{D_1 \beta_1 b}{4}$$

для конца прокатки,

где D_1 — диаметр валка по вершинам зубьев;

b — ширина шестерни;

α_1 и β_1 — углы захвата в начале и в конце прокатки.

Давление металла на валки. Радиальное давление металла на валки во время прокатки определяется из следующих соотношений: для начала прокатки $P_n = p_{cp} F_n$; для конца прокатки $P_k = p_{cp} F_k$.

При вдавливании зубьев прокатного валка в тело заготовки деформации подвергается сравнительно ограниченный объем металла, находящийся в зоне действия валков. Остальной объем металла заготовки, не подвергающийся пластической деформации, а также боковые реборды прокатных валков оказывают сопротивление течению металла. Вследствие этого напряженное состояние металла в зоне деформации приближается к состоянию равномерного всестороннего сжатия, при котором разность главных напряжений имеет сравнительно небольшую величину. По этой причине главное напряжение σ_1 , а значит, и среднее удельное давление p_{cp} будут значительно превосходить сопротивление металла деформации при простом растяжении.

В результате многочисленных экспериментов А. Д. Кузьмин рекомендует принимать отношение среднего удельного давления к сопротивлению пластической деформации $\frac{p_{cp}}{k}$ для случая про-

катки цилиндрических шестерен, равным в пределах $5 \div 7,5$. Следует отметить, что вполне надежных данных для определения среднего удельного давления при прокатке шестерен из различных материалов и при различных скоростях прокатки, а также при различной калибровке валков пока еще не имеется.

Крутящий момент на прокатных валках. При прокатке шестерен между валками и заготовкой возникают усилия, вызывающие радиальное и тангенциальное перемещения металла.

Исходя из схемы, представленной на рис. 173, А. Д. Кузьмин вывел следующую формулу для определения крутящего момента от сил P_1 и T_1 , возникающих при прокатке шестерни без принудительного вращения:

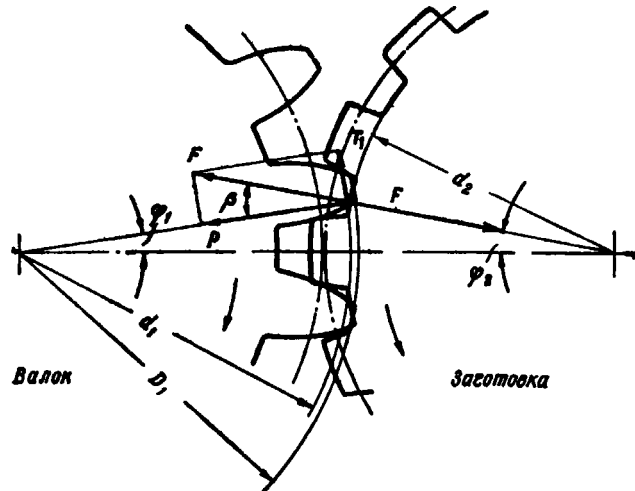


Рис. 173. Силы, действующие на валок при прокатке шестерен без принудительного вращения заготовки (А. Д. Кузьмин)

$$M_1 = \frac{T_1 d_1}{2} = \frac{P_1 d_1}{2} \varphi_1 (1 + i). \quad (106)$$

Расстояние точки приложения равнодействующей F до центра валка без большой погрешности может быть принято равным радиусу валка $\frac{D_1}{2}$, так как деформация заготовки производится в основном вершиной зуба. Угол φ_1 , характеризующий положение равнодействующей по дуге захвата, А. Д. Кузьмин для случая прокатки шестерен рекомендует принимать в пределах 0,66—0,75 угла захвата. Поэтому

$$M_1 \approx 0,375 P D_1 \beta_1 (1 + i). \quad (106a)$$

При прокатке шестерен с принудительным вращением от делительного механизма возникает дополнительная потенциальная сила T_2 , которая смещает по направлению вращения валков

слой металла толщиной h , равный подаче валков за полуоборот. Величина силы T_2 определится из следующей формулы:

$$T_2 = h b p_{\text{ср}}.$$

Крутящий момент на валке от силы T_2 будет

$$M_2 = \frac{p_{\text{ср}} h b D_1}{2}. \quad (107)$$

Момент M_2 действует только на валки, шпиндели и шестеренную клеть стана. На ведущем валу шестеренной клетки он уравновешивается реактивным моментом, который передается на этот вал от заготовки через длительный механизм, что следует учитывать при определении работы, необходимой для совершения тангенциальной деформации.

Производительность стана при прокатке зубчатых колес. Продолжительность цикла прокатки t одной шестерни для процесса с радиальной подачей валков может быть выражена следующей формулой;

$$t = \left(\frac{1,4m}{2h_{\text{ср}}} + n_0 \right) \frac{60}{n_{\text{ср}} i} + t_1 + t_n, \quad (108)$$

где $\Sigma h = 1,4m$ — суммарная подача одного валка от момента соприкосновения его с заготовкой до конца цикла;

$n_{\text{ср}}$ — подача валка за полуоборот заготовки (среднее значение в течение цикла);

n_0 — общее число оборотов заготовки в минуту до начала образования зубьев и после образования их на полную высоту (обычно $n_0 = 3 \div 5$);

$n_{\text{ср}} i$ — среднее число оборотов валков в минуту с учетом замедления и разгона валков при реверсе; $n_{\text{ср}}$ можно принять равным половине установленного числа оборотов валков;

t_1 — время, необходимое для перемещения заготовки из черновых валков в калибровочные;

t_n — продолжительность паузы для установки заготовки из черновых валков в калибровочные;

Зная продолжительность цикла прокатки одной шестерни, легко определить часовую производительность стана в штуках:

$$n = \frac{3600}{t}.$$

Продолжительность цикла прокатки шестерни $d_{02} = 120$ мм, $m = 3$ мм, $z_2 = 40$ на опытном стане равна 39 сек. и $n = 92$ шт/час, 20*

Нарезка шестерен такого же размера на фрезерном станке продолжается около 8 мин., что соответствует производительности $n = \frac{60}{8} = 7,5 \text{ шт/час.}$

Технология прокатки цилиндрических шестерен

Размер и форма заготовки. Исходной заготовкой при прокатке шестерен является гладкий цилиндр, на образующей поверхности которого профилируются в процессе прокатки зубья. Размеры заготовки определяются опытным путем и зависят от способа и температуры прокатки. Правильным выбором величины диаметра заготовки определяются заполнение зуба и окончательные размеры изделия. При определении диаметра заготовки следует исходить из положения, что объем металла, вытесненный зубом вала из впадины изделия, должен быть равен объему головки зуба изделия. Точный теоретический подсчет величины диаметра заготовки затруднен ввиду невозможности учесть количество металла, вытесняемого в заусенец при штучной прокатке и сдвигаемого в направлении, обратном подаче, при «прутковой» прокатке. На основании опытных работ можно принимать диаметр заготовки D :

при $m = 1,75 \text{ мм}$

$$D = D_{н.о} + (0,8 \div 1,0) m;$$

при $m = 3 \text{ мм}$

$$D = D_{н.о} + (0,6 \div 0,8) m,$$

где $D_{н.о}$ — диаметр начальной окружности шестерни.

Ширина заготовки для штучной прокатки берется равной ширине валков. Для прутковой прокатки длина заготовки определяется конструкцией стана. Чтобы избежать резки прокатанной прутковой заготовки на отдельные шестерни, целесообразно проводить прокатку набора (пачки), составленного из отдельных заготовок, ширина которых равна ширине заданных шестерен с припуском 0,2—0,3 мм на дальнейшую обработку по торцу.

Температура прокатки. Температура начала и конца прокатки оказывает большое влияние на качество металла и поверхность зубьев шестерни.

На основании опытных работ можно рекомендовать температуру начала прокатки 950—1100° и конца прокатки 600—650° (для углеродистой и низколегированной конструкционных сталей). При прокатке при температурах выше указанных наблюдаются: а) незаполнение зуба изделия, так как вследствие увеличения пластичности увеличивается переход металла в заусенец; б) увеличение внутреннего отверстия прокатываемых шестерен, являющееся следствием тангенциальной раскатки заготовки; в)

понижение механических свойств зуба изделия, вызываемое ростом зерна и склонностью к образованию видманштеттовой структуры; г) ухудшение поверхности зуба изделия, являющееся следствием крупного зерна металла; д) интенсивное образование окалины; окалина уменьшает размеры заготовки и, закатываясь в зуб изделия, снижает его прочность и ухудшает поверхность.

Низкая температура начала прокатки приводит к увеличению давления металла на валок, а также затрудняет пластическую деформацию металла и заполнение зуба. Прокатка при низкой температуре требует более мощного привода, более жесткой конструкции стана и вызывает быстрый износ валков.

Калибровочная операция является заключительной. Поэтому для получения более твердой поверхности (нагартовки) зуба окончание прокатки желательно вести при 600—650°. Температура конца прокатки шестерен, в дальнейшем подвергающихся термической обработке, может быть повышена.

При определении температуры нагрева металла необходимо принимать во внимание диаметр заготовки. Заготовки малого диаметра быстрее отдают тепло валкам, чем заготовки большего диаметра; поэтому температура нагрева их должна быть несколько выше.

Способ и среда, в который производится нагрев, также оказывают влияние на качество изделия. Лучшим способом нагрева следует считать нагрев токами высокой частоты, обеспечивающий чистоту поверхности изделия и удобство работы.

Инструмент. В качестве инструмента на станах для поперечной прокатки применяется зубчатый валок в виде коррегированной шестерни. Необходимость коррегирования зуба вала диктуется следующими соображениями; зуб изделия, формируясь во впадине вала, получает размеры впадины и имеет отношение высоты головки и ножки, обратное принятому на зубе вала. Если вести прокатку валками с нормальными размерами зуба, то зуб изделия будет иметь высоту головки 1,2 модуля и высоту ножки 1 модуль. Кроме того, замеры прокатанных шестерен показали отклонение размеров впадин от размеров формирующего зуба вала в сторону увеличения их ширины. Исходя из этого, при калибровке валков необходимо уменьшить толщину зуба вала и иметь обратное отношение высоты головки и ножки зуба по сравнению с обычным зацеплением.

Число зубьев на валках следует принимать по возможности большим, так как это увеличивает плавность зацепления и тем самым благоприятно сказывается на делении зубьев шестерен. На валках нарезается 60—80 зубьев. Дальнейшее увеличение числа зубьев, хотя и улучшает условия прокатки, но влечет за собой увеличение размеров стана и повышение стоимости из-

делия. Во избежание формирования зубьев накатываемой шестерни в одних и тех же впадинах число зубьев на валках не следует принимать кратным числу зубьев прокатываемых шестерен.

Экспериментальные работы показали целесообразность проведения прокатки в двух парах валков — чистовой и черновой, так как это улучшает условия деления зубьев. Кроме того, применение черновых валков оправдывается с точки зрения удлинения срока службы более дорогих и точных чистовых валков.

Применение черновых валков дает возможность разбить процесс прокатки на две операции — черновую и чистовую. Целью черновой операции является деление зубьев и выполнение основной деформации заготовки. Получение же точного профиля зуба изделия относится к чистовой операции. Это дает возможность при выборе профиля черновых валков исходить не из профиля изделия, а из условия облегчения деформации.

Профиль зуба чистовых валков должен соответствовать профилю зуба изделия. Диаметр валков определяется модулем и числом зубьев.

Ширина валков для штучной прокатки устанавливается в зависимости от ширины прокатываемых шестерен.

Для предотвращения течения металла в сторону и для образования правильной торцевой поверхности изделия валки имеют ограничительные реборды.

Качество прокатанных шестерен. Шестерни, полученные поперечной прокаткой, подвергали следующим исследованиям:

1) определялось колебание длины общей нормали; 2) колебания величины межцентрового расстояния; 3) биение окружности выступов; 4) профиль зуба; 5) проводилось металлографическое исследование.

Ниже приведены некоторые результаты этих исследований.

Шестерни ($m=1,75$ мм и $z=84$), полученные на лабораторном стане штучной прокаткой (с радиальной подачей валков), имели колебание длины общей нормали при охвате 10 зубьев в пределах $0,12—0,25$ мм. Шевроинные колеса ($m=1,75$ мм и $z=30$) — $0,10—0,18$ мм. Для шестерен прутковой прокатки колебания длины общей нормали составляют $0,08—0,12$ мм. Величина колебаний зависит от совершенства делительного приспособления, правильности установки заготовки и величины зазоров в кинематической цепи. Точность зацепления рабочих валков соответствует III классу точности.

При усовершенствовании процесса и, в частности, при применении более точных рабочих валков колебания длины общей нормали могут быть уменьшены.

Колебание межцентрового расстояния у большинства замеренных шестерен лежит в пределах IV класса точности, а у отдельных шестерен достигает III класса. Лучшие результаты по-

лучены на шевронных и прямозубых шестернях прутковой прокатки (с осевой подачей заготовок), у которых величина колебаний составляет $0,08—0,14$ мм.

Для шевронных шестерен величина биения окружности выступов лежит в пределах от $0,03$ до $0,10$ мм, а для прямозубых шестерен прутковой прокатки в пределах $0,04—0,15$ мм.

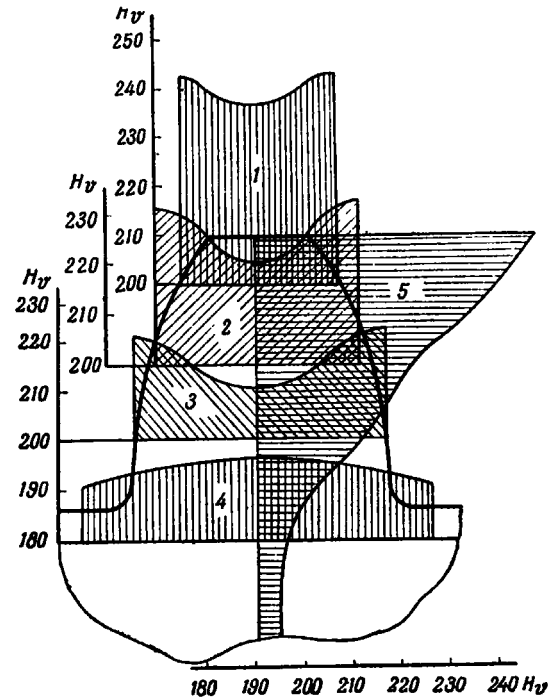


Рис. 174. Кривые твердости зуба прокатанной шестерни по ее различным сечениям (1—5)

Металлографическое исследование показало, что зубья прокатанных шестерен имеют мелкое зерно на поверхности зуба. Характерно расположение волокон по профилю зуба, что увеличивает прочность прокатанных шестерен по сравнению с фрезерованными.

Так как температура конца прокатки составляет $600—650^{\circ}$, поверхностные слои зацепления несколько наклепываются и твердость их повышается.

На рис. 174 показано распределение твердости зуба в прокатанной шестерне по различным сечениям; из кривых видно, что разница в твердости середины и поверхности зуба доходит до $20—25$ Hv.

Область применения прокатанных шестерен. Способ изготовления шестерен методом поперечной прокатки может быть применен во всех отраслях машиностроения, где имеется массовое или крупносерийное производство шестерен.

В тех отраслях машиностроения, где к шестерням предъявляют повышенные требования в отношении точности, прокаткой могут быть заменены операции чернового нарезания зубьев: в отраслях машиностроения, где применяются шестерни с пониженной точностью (например, сельскохозяйственное машиностроение), прокатку шестерен можно рассматривать как окончательную операцию по образованию зуба.

Опытные работы показали, что лучшие результаты дает прокатка шевронных шестерен. В силу благоприятных условий деления зубьев и деформации материала, присущих процессу прокатки шевронных колес, обеспечивается их более высокая точность по сравнению с прямозубыми.

Кроме того, применение процесса прокатки для изготовления шевронных колес может дать большой экономический эффект, так как существующие способы их изготовления сложны, требуют специальных дорогостоящих станков и инструмента и малопроизводительны. Прокатка же шевронных шестерен не вносит осложнений в процесс и машинное время такой прокатки равно машинному времени прокатки прямозубой шестерни. Исходя из этого, процесс прокатки следует рекомендовать в первую очередь для изготовления шевронных шестерен.

Прокаткой можно изготовить шевронные шестерни с числом перегибов более двух, изготовление которых существующими способами представляет значительные трудности. Кроме того, прокаткой можно изготавливать червяки, шлицевые зацепления, фрезы и т. п. детали.

Обработка прокатанных шестерен. Технологический процесс прокатки дает возможность получать шестерни с заданным модулем, числом зубьев и наружным диаметром, но не обеспечивает окончательное получение других размеров шестерен. Поэтому прокатанные шестерни требуют механической обработки.

Обработка прокатанных шестерен в основном сводится к сверлению и расточке внутреннего отверстия и обработке торцовых поверхностей. Обработка торцовых поверхностей затруднения не представляет и производится обычным способом. Обработка же внутреннего отверстия более сложна, и от правильности ее зависит качество шестерен. При обработке внутреннего отверстия прокатанных шестерен за базу принимается наружный диаметр. Замеры прокатанных шестерен показали, что наружный диаметр их имеет эллипсность в пределах 0,01—0,03 мм; таким образом, вполне возможно взять этот элемент шестерни в качестве базы.

Применение высокочастотного нагрева дает возможность прокатывать заготовки на оправке с готовым отверстием и обработанными торцовыми поверхностями.

При прутковой прокатке готовый прокат режется на отдельные шестерни, дальнейшая обработка которых аналогична обработке шестерен, получаемых штучной прокаткой.

Для получения точного зацепления зубья прокатанных шестерен могут быть подвергнуты доводочным операциям. В остальных же случаях зубья прокатанных шестерен не подвергаются обработке.

Сравнение производительности зуборезного оборудования и стана для прокатки шестерен показывает, что производительность последнего значительно выше. Так, например, при изготовлении прямозубых шестерен $m=1$ мм и $z=30$ мм с шириной венца 8 мм на зуборезном станке производительность его по машинному времени составляет 150 шт/час. Производительность стана при прокатке таких же шестерен набором составляет 450 шт/час.

Следует отметить, что большая часть времени прокатки приходится на вспомогательные операции (установка заготовки, реверсирование валков, перемещение заготовки из одних валков в другие и т. д.). Уменьшение вспомогательного времени путем механизации стана промышленного типа позволит еще более повысить производительность.

Прокатка прямозубых, шевронных и косозубых шестерен возможна на одном стане и требует только замены рабочих валков. Кроме того, возможность изготовления шестерен со сложным профилем (например, шевронных с числом перегибов больше двух) выгодно отличает этот способ от всех других способов изготовления шестерен.

Валки, применяемые для прокатки, просты и могут изготавливаться нормальным инструментом на обычных зуборезных станках.

Валки для прокатки шестерен со сложным профилем изготавливают сборными. Например, валки для шевронных шестерен с 4 перегибами состоят из четырех косозубых шестерен, собранных вместе.

Экономичность способа прокатки обуславливается прежде всего высокой производительностью, простотой и дешевизной оборудования и инструмента.

Ввиду расположения волокон металла по контуру зуба прокатанные шестерни имеют более высокие механические свойства, чем шестерни, изготовленные резанием. Замеры по сечению показали, что поверхность зуба и прилегающие к ней слои имеют повышенную твердость по сравнению с внутренними слоями. При

соответствующем подборе температуры конца прокатки можно получить шестерни с повышенной твердостью поверхности, так что во многих случаях термическая обработка их не требуется.

Промышленные станы для прокатки зубчатых колес. Первые образцы промышленных станов для прокатки зубчатых колес изготовлены по чертежам ВНИИМЕТМАШ. Станы имеют одинаковую конструкцию, но отличаются размерами. Основные части стана: рабочая клеть, насосная установка и главный привод с двухступенчатым цилиндрическим редуктором.

Стан оборудован аппаратурой для нагрева заготовок токами высокой частоты. На стане возможна прокатка с осевой подачей заготовки (прутковая прокатка) и с радиальной подачей валков (штучная прокатка).

Прокатные валки представляют собой шестерни с тем же модулем, что и прокатываемые изделия; они изготавливаются на обычных зуборезных станках. Нормальная стойкость валков составляет 3000—5000 шт. шестерен.

Технологический процесс изготовления зубчатых колес прокаткой устанавливается в зависимости от размера и вида их, от требований, предъявляемых к шестерням, и от способа прокатки. В тех случаях, когда точность, обеспечиваемая прокаткой, является достаточной, процесс прокатки применяется как окончательная операция получения зубчатого венца. При более высоких требованиях к точности шестерен процесс прокатки используется в качестве операции, заменяющей черновую нарезку зубьев.

На заводе «Красный металлист» принят прутковый способ прокатки, как наиболее соответствующий виду и размерам изготавливаемых шестерен. Основные операции технологического процесса изготовления шестерен с $m=1,5$ мм и диаметром начальной окружности $D_{н.о.}$ до 220 мм приведены в табл. 34.

Зубья прокатанных шестерен механической обработке не подвергаются. Механическая обработка прокатанных заготовок заключается в расточке внутреннего отверстия и обработке торцов до нужных размеров. Вследствие сравнительно высокой точности наружного диаметра шестерен, обеспечиваемой прокаткой, при расточке внутреннего отверстия за основу принимается округность выступов.

Размеры и тип шестерен, изготавливаемых на Челябинском тракторном заводе, а также требования к их точности предопределили целесообразность применения штучной прокатки с последующей обработкой зубьев прокатанных шестерен. На заводе применяется следующий технологический процесс изготовления зубчатых колес с $m=7$ мм и числом зубьев $z=27$ (табл. 35).

Таблица 34

Основные операции технологического процесса изготовления шестерен с модулем 1,5 мм

Наименование операций	Оборудование
Штамповка заготовок Разрезка прута на заготовки Изготовление поковок Изготовление из поковок заготовок для прокатки	Кузнечные молоты Отрезной станок Кузнечные молоты Токарные и револьверные станки
Прокатка заготовок Охлаждение прокатанных заготовок Обработка центрального отверстия и торцов до готовых размеров Протяжка шпоночного паза Закалка	Прокатный стан Печи Токарные и револьверные станки Протяжные станки Установка т. в. ч.

Таблица 35

Технологический процесс изготовления шестерен с модулем 7 мм

Наименование операций	Оборудование
Обработка заготовок по торцу и наружному диаметру и расточка внутреннего отверстия Предварительная протяжка шлицев Прокатка заготовок Чистовая обработка торцов венца и чистовая протяжка шлицев Чистовое зубофрезерование Термическая обработка	Токарные станки Протяжные станки Прокатный стан Токарные и протяжные станки Зуборезные станки Установка т. в. ч.

Установка заготовки в стане производится по отверстию в ней после черновой протяжки шлицев.

Производительность прокатного стана на заводе «Красный металлист» достигла 200 шт/час (при прокатке шестерен с $m=1,5$ мм и $z=23$) и 167 шт/час (при прокатке шестерен с $m=1,5$ мм и $z=42$).

Проектная производительность стана, установленного на Челябинском тракторном заводе, при прокатке зубчатых колес с $m=7$ мм и $z=27 \div 28$ составляет 45 ÷ 50 шестерен в час.

Интенсивная пластическая деформация при образовании зубьев способствует получению более качественного металла в зубчатом венце: волокна металла не перерезаются, как при механической обработке зубьев, а изгибаются по профилю зубьев.

Кроме того, металл поверхности зубьев уплотняется на глубину 0,5—0,6 мм. Наличие уплотненного слоя повышает прочность зубьев прокатанных шестерен.

Испытаниями на усталостное выкрошивание поверхности зубьев шестерен из стали 45, прокатанных и дополнительно фрезерованных со снятием слоя толщиной 0,15 мм, был определен предел усталости в 70 кг/мм². Для фрезерованных шестерен из того же материала, испытанных в тех же условиях, предел усталости был равен 53 кг/мм².

Испытаниями на статический излом зубьев прокатанных и фрезерованных шестерен установлено, что для излома зуба прокатанных шестерен требуется усилие, в 1,5 раза превышающее усилие, требующееся для излома зубьев фрезерованных шестерен.

Точность прокатанных шестерен, изготовленных прутковым методом, соответствует III—IV классам точности. Шестерни, изготовленные штучным методом прокатки, имеют более низкую точность и должны подвергаться чистовой обработке по зубу.

По чистоте поверхности профиля зубьев прокатные шестерни, как правило, лучше фрезерованных и соответствуют VI—VII классам чистоты. Поверхность зубьев обычно бывает покрыта тонким слоем окалины и имеет гладкую поверхность, как у прокатанного листового материала.

Стан ЦКБММ-13

Стан ЦКБММ-13 установлен на Челябинском тракторном заводе и предназначен для прокатки шестерен с модулем до 10 мм и диаметром до 600 мм штучным способом. Для осуществления штучного способа прокатки валкам и заготовке сообщается вращение с определенными скоростями; вращающиеся валки сближаются в направлении на заготовку и, деформируя ее нагретую поверхность, образуют на ней зубья. Кинематическая схема стана ЦКБММ-13 приведена на рис. 175, общий вид его — на рис. 176. Рабочая клетка стана имеет три ходовых винта большого диаметра с правой и левой нарезками, по которым перемещаются две каретки с установленными на них прокатными валками. Ходовые винты приводятся во вращение от отдельного двигателя через червячно цилиндрический редуктор. В зависимости от направления вращения ходовых винтов каретки могут одновременно приближаться или удаляться от заготовки, закрепленной в зажимном механизме стана (суппорта), расположенном на середине стана. Вращение валкам передается через скользящие по трансмиссионному валу цилиндрические шестерни. Каждая каретка имеет три гайки, неподвижно закрепленные

к каретке и расположенные по треугольнику таким образом, что давление металла на валки всегда распределяется внутри этого треугольника. Такое расположение, а также точная посадка гаек на нарезке штанг, препятствуют перекосу кареток во время прокатки.

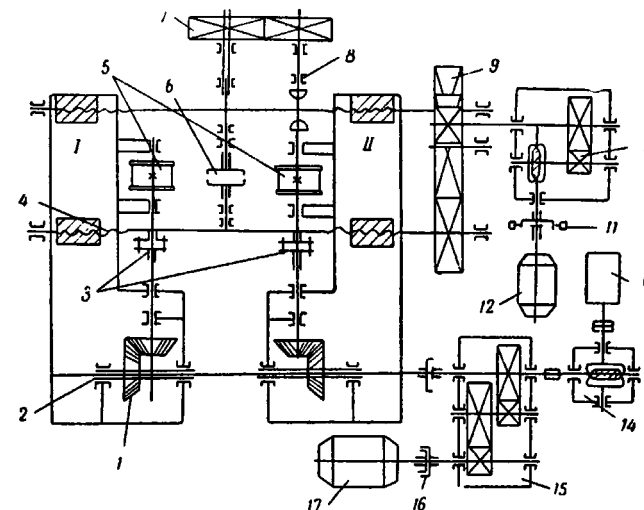


Рис. 175. Кинематическая схема стана ЦКБММ-13:

1 — левая каретка; 11 — правая каретка; 1 — конические шестерни; 2 — шлицевый вал; 3 — муфта для настройки прокатных валков; 4 — ходовой винт; 5 — прокатные валки; 6 — механизм зажима заготовки; 7 — делительная шестерня (при штучном методе заготовки); 8 — карданный вал; 9 — шестеренная клетка; 10 — червячно-цилиндрический редуктор; 11 — муфта с тормозом; 12 — электродвигатель для привода ходовых винтов; 13 — командо-аппарат главного привода; 14 — червячный редуктор; 15 — цилиндрический двухступенчатый редуктор; 16 — муфта сцепления (зубчатая); 17 — электродвигатель для привода прокатных валков

Угловая установка относительно друг друга производится с помощью специальной муфты, допускающей поворот одной половины муфты по отношению к другой на некоторый угол.

От трансмиссионного вала вращение передается также на делительный механизм через пару конических колес. Делительный механизм воспринимает значительную часть крутящего момента, действующего на валик.

Зажим заготовки на столе суппорта осуществляется верхним диском посредством гидравлического цилиндра.

Рабочие валки стана приводятся от электродвигателя постоянного тока. Скорость вращения валков регулируется в диапазоне 1:2,5. Для обеспечения возможности регулирования скорости и быстрого реверсирования валков управление двигателем

выполнено по системе генератор-двигатель. Управление генератором осуществляется с помощью электромашинного усилителя. В управлении двигателем предусмотрен режим работы стана с вращением валков в одну сторону на определенное число оборотов и на такое же число оборотов в другую сторону (реверс). Реверсы двигателя могут производиться универсальным пере-

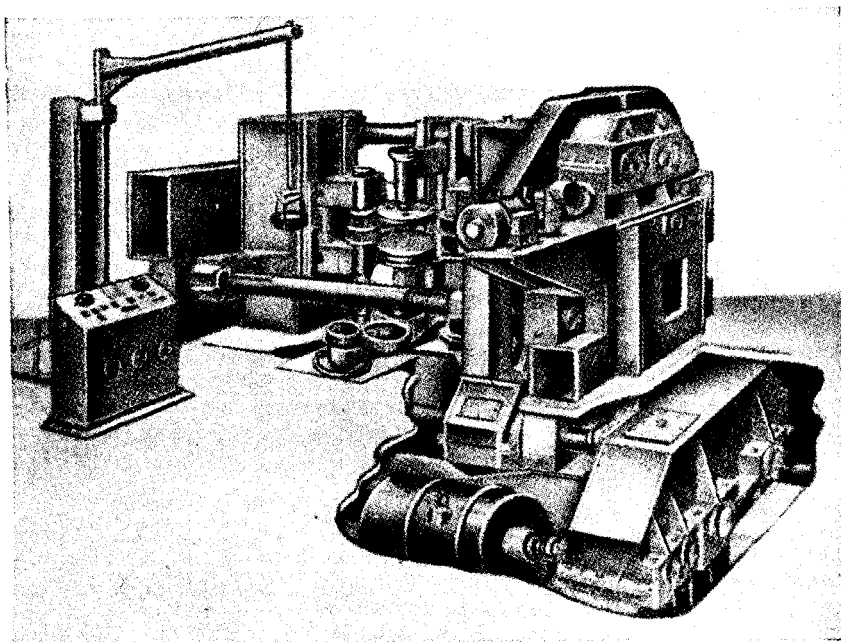


Рис. 176. Стана для прокатки шестерен

ключателем или автоматически с помощью командо-аппарата, соединенного с редуктором главного привода через кинематическую передачу. Мощность двигателей главного привода составляет 45 л. с.

Привод механизма подачи валков осуществляется от электродвигателя постоянного тока, регулируемого по скорости в пределах 1 : 10. Управление двигателем подачи валков осуществлено по системе генератор-двигатель с электромашинным усилителем. Выбор скорости двигателя подачи производится с помощью универсального переключателя.

Максимально допустимое расстояние между осями валков при их разведении ограничивается конечным выключателем, на

который воздействует левая каретка. При сближении валков предусмотрено выключение двигателя при заданном межцентровом расстоянии валков при помощи конечного выключателя и командо-аппарата.

Перед прокаткой заготовку укладывают на нижний приводной стол суппорта и зажимают верхней подвижной головкой. При сближении кареток валки пластически деформируют металл заготовки и образуют на ней зубья. Эти зубья, обкатываясь в зацеплении с зубьями валков, получают нормальный эвольвентный профиль. Нагрев заготовок осуществляется в процессе прокатки секторным индуктором, установленным между валками. Заготовка и валки вращаются сначала при неподвижном механизме подачи валков только для нагрева заготовки. При достижении нужной температуры включается механизм подачи валков.

Штучная прокатка может быть применена при любой конфигурации и размерах шестерен с прямыми, косыми и шевронными зубьями. В качестве материала для изготовления валков применяется сталь марок 5ХНТ, ХВГ, 65Г; твердость валков после термообработки 52—55 R_c .

Достигнутая в настоящее время точность процесса штучного способа прокатки шестерен не обеспечивает требований, предъявляемых к большинству зубчатых передач, поэтому прокатка шестерен применяется на заводе как черновая предварительная операция. Прокатанные зубчатые заготовки под чистовое зубофрезерование должны отвечать следующим техническим условиям:

Биение наружного диаметра зубьев относительно внутреннего диаметра шлицев, мм	≤ 0,20
Колебание шагового размера, мм	≤ 0,40
Ошибка профиля зубьев	≤ 0,20
Биение профиля зубьев	≤ 0,30
Припуски на чистовую обработку:	
по профилю зубьев на сторону	0,8—1,2
по впадине зубьев	0,8

Припуски по торцам обода зубьев и наружному диаметру зубьев не предусматриваются.

Прокатка производится при следующих режимах:

температура начала прокатки — 1100—1050°; скорость подачи валков в начале прокатки $v=1,5$ мм на $1/2$ оборота заготовки; скорость вращения валков — в начале прокатки $n=5÷6$ об/мин и в конце прокатки $n=12—15$ об/мин.

В табл. 36 приведены сравнительные данные по изготовлению шестерен способом прокатки и зубофрезерованием на Челябинском тракторном заводе.

Таблица 36

Сравнение процессов изготовления шестерен прокаткой и фрезерованием

Показатели	Скоростное фрезерование с применением твердосплавного инструмента	Прокатка
Вес заготовки, кг	11,8	10,3
Вес снимаемой стружки, кг	5,55	4,05
Время, затрачиваемое на зубофрезерование, мин:		
черновое	2,0	—
чистовое	10,0	10,0
Время на прокатку зубьев, мин:		
фактически достигнутое	—	3,5
проектное	—	1,5
Экономия:		
на одну штуку:		
кг	—	1,5
руб.	—	3,0
на годовую производительность:		
т	—	150
руб.	—	300 000

Интенсивная пластическая деформация, которая происходит при образовании зубьев, способствует получению качественного металла в зубчатом венце.

Уплотнение поверхностного слоя благоприятно сказывается на механических показателях прокатанных шестерен, повышает предел их усталостного выкрошивания, износоустойчивость зубьев прокатанных шестерен и механическую прочность.

Во ВНИИМЕТМАШ проведено испытание по определению предела усталостного выкрошивания поверхности зубьев прокатанных и фрезерованных шестерен, изготовленных из стали марки 45. Испытания как прокатанных, так и фрезерованных шестерен проводились на специально сконструированной для этой цели установке в совершенно одинаковых условиях. Заготовки для всех шестерен были изготовлены из одной поковки. Шестерни изготавливались способом прутковой прокатки. После прокатки зубьев заготовки остывали на воздухе и в дальнейшем термической обработке не подвергались. Твердость прокатанных шестерен была равна 200—250 H_B . Для достижения такой же твердости у фрезерованных шестерен заготовки для их изготовления подвергали нормализации. В качестве показателя наступления поверхностной установки зубьев принималось начало прогресс-

сивного их выкрошивания. Число циклов, соответствующее началу разрушения профиля, принималось за точку построения усталостной кривой. Для фрезерованных шестерен предел усталостного выкрошивания составлял 53 $кг/мм^2$, для накатанных шестерен — 70 $кг/мм^2$.

На заводе «Красный металлист» были проведены сравнительные испытания прокатанных и фрезерованных шестерен. Для ис-

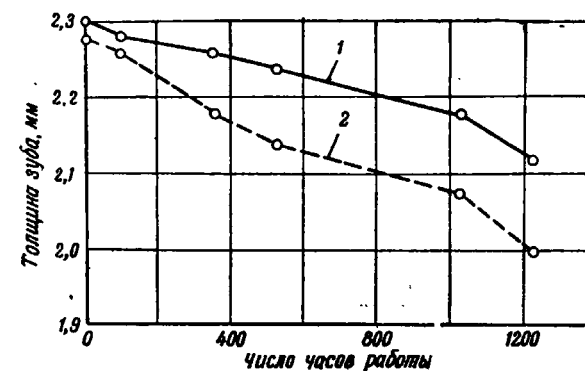


Рис. 177. Кривые сравнительного износа прокатанных и фрезерованных шестерен:

1 — прокатанная шестерня; 2 — фрезерованная шестерня

пытания были взяты два редуктора, один из которых был укомплектован прокатанными шестернями, а другой — фрезерованными. Все шестерни были подвергнуты принятой на заводе термической обработке и перед испытанием были тщательно замерены. Оба редуктора были установлены на стенде и испытывались в одинаковых условиях (нагрузка, скорость вращения, смазка и т. д.).

По полученным данным построены кривые сравнительного износа (рис. 177), из которых видно, что прокатанные шестерни вначале имеют износ, одинаковый с фрезерованными. При дальнейшей работе интенсивность износа прокатанных шестерен уменьшается, а фрезерованных — увеличивается, и к концу испытаний износ фрезерованных шестерен был больше, чем прокатанных.

Испытания по определению величины усилия излома зубьев прокатанных и фрезерованных шестерен при статическом нагружении были проведены на Челябинском заводе. Испытанию подвергли шестерни с модулем 7 мм. Прокатанные шестерни предварительно прошли операции отжига и чистовой обработки по профилю зубьев, после чего подвергались термообработке по технологии, принятой для фрезерованных шестерен.

Было установлено, что излом зубьев прокатанных шестерен наступает при усилии в 1,5 раза большем, чем фрезерованных.

Качество зубьев прокатанных шестерен в значительной степени определяется правильно выбранным наружным диаметром и шириной исходной заготовки. Теоретический диаметр заготовки определяется из условия, что объем металла, вытесняемый из впадины от основания до окружности заготовки, полностью перемещается в головку зуба от окружности заготовки до вершины. Однако при деформировании венца заготовки часть металла течет в осевом направлении. Этот металл не участвует в образовании зуба, в результате чего прокатанные зубья не заполняются по краям. Увеличение исходной ширины заготовки обеспечивает полное заполнение зубьев по ширине, но приводит к образованию облоя на торцовых поверхностях заготовки. Поэтому на практике для ограничения течения металла в осевом направлении применяют специальные торцовые шайбы, закрепленные на валках, или холостые ролики, которые монтируются на специальных рамах. При применении боковых ограничивающих устройств ширина заготовки должна быть меньше ширины зубчатого венца на величину $0,15 \div 0,25$ модуля. Боковой зазор между торцом заготовки и ограничивающими устройствами обеспечивает хорошее заполнение зубьев и уменьшает трение на торцах. Диаметр заготовки должен выбираться большим, чем диаметр делительной окружности, на величину $0,5—0,6$ модуля, с учетом утечки металла за счет осевой деформации и появления облоя.

Увеличение диаметра исходной заготовки компенсирует также осадку всего зубчатого венца. Как правило, у шестерен зубчатый венец соединяется со ступицей сравнительно тонким диском, который не может при прокатке препятствовать осадке венца.

Поэтому при прокатке шестерен на Челябинском заводе применяются специальные упорные стаканы, исключаящие радиальную осадку венца.

Существенное влияние на течение металла и образование зуба при прокатке шестерен оказывают силы трения, возникающие между зубьями валков и заготовки. Силы трения способствуют неравномерному росту зуба; на участках, где силы трения направлены против течения металла, они препятствуют его перемещению, и наоборот. Неравномерный рост боковых профилей зубьев приводит к появлению дефектов при обжати головки зуба впадиной валка.

С целью уменьшения сил трения при прокатке применяется технологическая смазка, состоящая из смеси графита с маслом и водой. Применение смазки изменяет характер течения металла; рост зубьев с обеих сторон становится более равномерным.

Одновременно с улучшением течения металла применяемые смазки снижают давление металла на валки. Например, при прокатке шестерен с модулем 7 мм при применении смазки давление металла на валки снижается на 15%.

Правильно подобранные режимы прокатки должны обеспечивать высокую производительность процесса и хорошее качество прокатанных шестерен. Режимы прокатки могут изменяться за счет изменения скорости вращения валков n или изменения скорости их сближения v .

Как показал опыт эксплуатации стана ЦКБММ-13, оптимальные режимы имеют место при определенном соотношении величин n и v , связь между которыми может быть установлена равенством

$$k = \frac{v 60}{\pi D n},$$

где D — диаметр валков.

Повышение производительности стана связано с увеличением скорости сближения валков v . При этом для хорошего качества шестерен должно быть соответственно увеличено число оборотов n стана с тем, чтобы величина k не изменилась.

Оптимальная скорость сближения валков v на стане ЦКБММ-13 для прокатки шестерен $m = 7$ мм принята 0,6 м/сек при $D = 315$ мм $n = 8$ об/мин; при этом $k = 4,55$.

В конце прокатки скорость подачи уменьшается с 0,6 до 0,14 м/сек. Уменьшение подачи обеспечивает получение более качественной поверхности зубьев и точную остановку валков.

В процессе наладки стана ЦКБММ-13, а также во время его эксплуатации почти все прокатанные шестерни замерялись по длине общей нормали. Из теории зубчатых зацеплений известно, что колебание длины общей нормали является непосредственным следствием непостоянства относительной скорости обкатывания при обработке зубчатого колеса на станке.

Непостоянство скоростей вращения прокатываемой заготовки является результатом неточности кинематической цепи прокатного стана; поэтому замеры длины общей нормали характеризуют не степень точности самого процесса прокатки, а степень точности кинематической цепи стана.

Величины абсолютных значений отклонений длины общей нормали колеблются в пределах от 0,10 до 0,95 мм. Это приводит к браку шестерен, так как при последующей чистовой обработке шестерен на боковых поверхностях некоторых зубьев остаются необработанные участки.

При имеющейся в цепи стана ошибке при прокатке шестерен наиболее вероятным отклонением длины общей нормали является 0,40 мм. Около этой величины отклонения группируется отклонение основной массы прокатанных шестерен.

Это обстоятельство является весьма существенным, так как если изготовить стан для прокатки, точность кинематической цепи которого будет обеспечивать заданную ошибку длины общей нормали прокатанных шестерен, то основная масса шестерен благодаря стабильности их отклонений будет укладываться в пределах заранее заданных отклонений.

Стан ЦКБММ-22

Стан ЦКБММ-22 для прокатки шестерен с модулем до 3 и диаметром до 250 мм прутковым способом установлен на заводе «Красный металлист».

Заготовка в виде сплошного цилиндра или набора отдельных дисков устанавливается в центрах суппорта так, чтобы торцовая часть верхней заготовки находилась на уровне кольцевого нагревательного индуктора, расположенного под рабочими валками. Вращение заготовка получает от делительной шестерни, находящейся в зацеплении с зубчатыми валками. При включении индуктора т. в. ч. верхний конец вращающейся заготовки нагревается до 1100—1150°, после чего включается механизм подачи и заготовка начинает перемещаться в осевом направлении.

Для облегчения захвата заготовок входная часть рабочих валков имеет коническую форму. В заборной части валков совершается основная работа по деформации заготовки и образованию зубьев, а в цилиндрической происходит калибровка готовых зубьев. Зубчатые валки устанавливаются на определенном межцентровом расстоянии. Кинематические схемы станов ЦКБММ-22 и ЦКБММ-13 аналогичны.

По техническим условиям точность шестерен, изготавливаемых на заводе, не превышает третьего класса. Поскольку прутковый способ прокатки обеспечивает эту точность, то процесс прокатки применяется на заводе как окончательная зубообрабатывающая операция. Технологический процесс изготовления шестерен прокаткой состоит из следующих операций (табл. 37).

Окончательная механическая обработка шестерен после прокатки зубьев заключается в обработке посадочного отверстия и торцов.

Проведенная работа по контролю горячекатаных шестерен показала, что окружности выступов и впадин, а также делительная окружность концентричны. Исходя из этого, в качестве основной технологической базы принята окружность выступов, т. е. наружный диаметр заготовки.

Обработка шестерен в цанговом патроне с базой по наружному диаметру при проверке радиального биения профиля относительно посадочного отверстия (для шестерен III класса точности 0,08 мм) дает удовлетворительные результаты. Однако

Таблица 37

Типовая технология изготовлений шестерен прокаткой

Наименование операций	Оборудование
Резка прутка на заготовки Изготовление поковок Изготовление из поковок заготовок для прокатки	Дисковые пилы Кузнечные молоты Токарные и револьверные станки Стан ЦКБММ-22 Стеллажи
Прокатка заготовок Охлаждение прокатанных заготовок Обработка центрального отверстия и торцов	Токарные и револьверные станки Протяжные станки Установка т. в. ч.
Протяжка шпоночного паза Закалка	

ввиду сравнительно большого отношения диаметра окружности выступов к толщине заготовки недостаточно в качестве базы для правильной установки в цанге принимать только один наружный диаметр. Проверка отклонения направления зубьев показала, что кроме этого, необходимо иметь вспомогательную установочную базу — торец заготовки, который предварительно подвергают механической обработке в специальном приспособлении. Таким образом, при выполнении операции расточки отверстия в качестве основной технологической базы принимается окружность выступов, а вспомогательной — торец шестерен.

Снятие завсенцев по профилю зуба и окружности впадин, образующихся после подрезки торцов зубчатого венца, производится на шевинговальном станке.

Для уменьшения трудоемкости механической обработки на заводе сконструирован специальный патрон, в котором заготовка с помощью трех шестерен точно центрируется по профильной поверхности зубьев, и надобность в подрезании технологического торца в этом случае отпадает.

При прокатке шестерен с модулем от 1,5 до 3 мм число оборотов валков принимается в пределах 30—40 в минуту. Скорость подачи прутковых заготовок в зависимости от диаметра принимается в пределах 6—8,5 мм/сек. С повышением скорости осевой подачи увеличивается обжатие за оборот, что приводит к наплыву металла на заготовке перед валками и порче зубьев. Это явление может быть устранено при одновременном увеличении числа оборотов валков.

Ввиду отсутствия на заводе зубошлифовальных станков прокатные валки обрабатываются на зуборезном станке. В качестве материала для валков применялась сталь 20 с последующей цементацией и закалкой зубьев на глубину 0,5—1 мм. Закалку

зубьев валков проводят на установке т. в. ч. Нормальная стойкость таких валков 3 000—5 000 шт. шестерен, что значительно превосходит стойкость червячных фрез для нарезания зубьев. Такую же стойкость имеют валки, изготовленные из стали марок 40ХН и 20ХН; лучшие результаты получаются при изготовлении валков из стали марки 5ХНТ. Стойкость их составляет 10—12 тыс. шестерен.

Сравнительные данные экономической эффективности изготовления одной шестерни методом нарезки и прокатки приведены в табл. 38.

Таблица 38

Сравнительная эффективность изготовления шестерен прокаткой и фрезерованием

Показатели	Стоимость изготовления одной шестерни, руб.	
	фрезерованной	прокатанной
Рабочая сила	1,74	1,58
Амортизация оборудования	0,33	0,61
Амортизация инструмента	0,81	0,26
Амортизация приспособлений	0,58	0,23
Электроэнергия и вода	0,05	0,11
Итого:	3,51	2,78

Несмотря на недостаточно совершенную технологию изготовления заготовок (ковка под молотом, расточка отверстий и др.), прокатанная шестерня на 20 % дешевле фрезерованной.

Одновременно с этим изготовление шестерен прокаткой обеспечивает более высокую производительность (табл. 39).

В таблице приведена производительность стана при прокатке различных шестерен.

Таблица 39

Производительность стана для прокатки шестерен

Номера шестерни	Число зубьев	Модуль <i>мм</i>	Прокатка одной шестерни, сек.	Число шестерен, прокатанных за час
21-0011А	42	1,5	9,0	400
21-061А	33	1,5	8,0	450
21-060А	24	1,5	6,3	570
21-051А	15	1,5	20	180

Промышленная эксплуатация стана ведется заводом только путем прокатки шестерни прутковым методом. При этом длина прокатываемой детали (или стопки деталей) не превышает 200 мм. В настоящее время завод, применяя этот метод прокатки, систематически выпускает крупными сериями цилиндрические шестерни восьми типоразмеров из стали марки 40ХН: прямозубые $m = 1,5$ мм и $z = 17 \div 76$, косозубые $m = 1,5$ мм и $z = 15 \div 42$.

Стан ХТЗ

Автомобильные и тракторные шестерни среднего модуля (4—5 мм) на Харьковском тракторном заводе изготавливают путем фрезерования зубьев с последующей доводкой их шевингованием. Эти операции длительны (10—15 сек. на обработку одного зуба) и связаны со значительным расходом инструмента (червячных фрез и шевров из быстрорежущей стали). При нарезании зубьев шестерни около 10 % металла уходит в стружку, а прочность зубьев снижается вследствие перерезания волокон металла штампованной заготовки.

Применение горячей прокатки зубьев ускоряет процесс изготовления шестерен и устраняет недостатки, связанные с нарезанием зубьев; однако невысокая точность горячекатаных шестерен не удовлетворяет требованиям автотракторной промышленности.

Харьковским тракторным заводом совместно с Научно-исследовательским институтом токов высокой частоты имени В. П. Вологодина разработана технология комбинированной горяче-холодной прокатки шестерен, обеспечивающая точность II—III классов при затрате 2—3 сек. на изготовление одного зуба¹. Эта технология устраняет также такие дефекты горячей прокатки, как образование закатов окалина у ножки зуба и облой на его вершине, что уменьшает дополнительную обработку после горячей прокатки и позволяет проводить холодную прокатку горячекатаного зуба без промежуточного фрезерования. Применено автоматическое управление индукционным нагревом и подачей прокатных валков по заданному циклу прокатки.

На рис. 178 представлен общий вид опытного прокатного стана ХТЗ.

Увеличение производительности в 5—6 раз при прокатке снижает расходы на заработную плату (вместе с начислениями) примерно на 1 руб. на шестерню. Экономия металла составляет 10 % от веса шестерни. Общую экономию от перехода на горяче-холодную прокатку можно оценивать примерно в 5 руб. на ше-

¹ По данным инж. Половникова В. В., опубликованным в Бюллетене технико-экономической информации, № 9 за 1956 г., стр. 11—12.

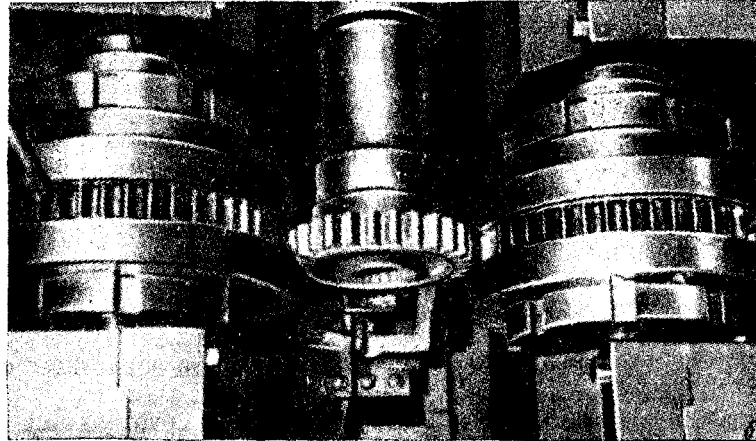
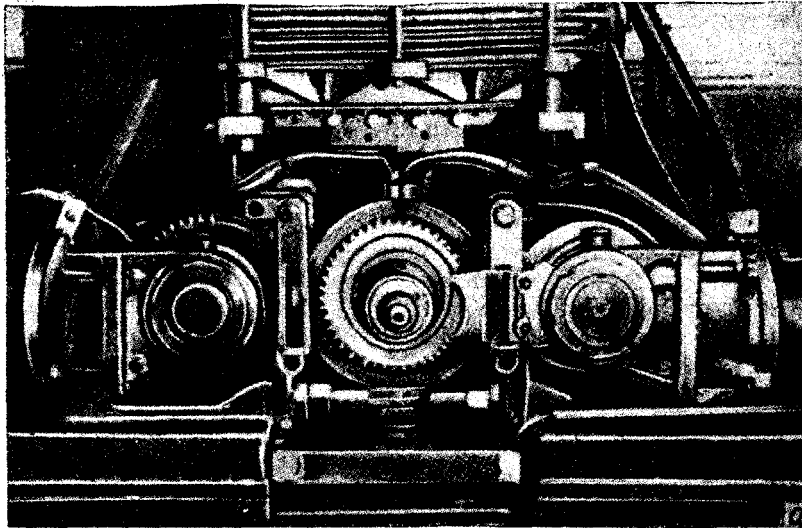


Рис. 178. Стан для прокатки шестерен, работающий на ХТЗ

стерню при заводской ее стоимости в 26 руб. Кроме того, прочность зуба горячекатаных шестерен повышается на 20—50% по сравнению с фрезерованием.

Индукционный нагрев заготовок для прокатки зубчатых колес

В целях получения зубчатых колес высокого качества и обеспечения высокой производительности работы стана Центральным бюро поверхностной электрозакалки ЦНИИТМАШ разработан процесс индукционного нагрева заготовок для прокатки зубчатых колес.

Прокатка зубчатых колес диаметром до 70 мм производилась из заготовки длиной 250 мм, нагретой до 1100—1200°. Заготовки закрепляются в стане ЦКБММ-22 в вертикальном положении между прокатными валками, и при вращении и поступательном движении на них прокатываются зубья по всей их длине. Прокатанная таким образом заготовка разрезается на отдельные зубчатые колеса. Для зубчатых колес диаметром 140 мм в конструкции стана предусмотрена возможность поштучной их обработки. В этом случае нагретая заготовка устанавливается между валками, и зубья прокатываются при постепенном сближении валков.

Индукционный нагрев заготовок имеет большие преимущества перед нагревом в печах. Благодаря быстрому доведению температуры заготовок до требуемой образуется меньше окалины, чем при нагреве в печи. Индукционный нагрев токами высокой частоты более экономичен по расходу энергии, так как в этом случае создаются условия для нагрева заготовки не по всему сечению, а лишь тех слоев, которые подлежат обработке. Кроме того, при электронагреве значительно улучшаются условия труда, а подача энергии осуществляется непосредственно в момент обработки, тогда как при нагреве в печах энергия расходуется для разогрева и поддержания постоянной температуры в рабочей камере и в то время, когда производится наладка или происходит перерыв в работе стана.

Экспериментальные работы по индукционному нагреву заготовок зубчатых колес проводились с использованием машинного преобразователя ПВ-100/2500 (мощность 100 кВт, частота тока 2500 пер/сек, напряжение 750 в). В процессе работы было установлено, что нагретый токами высокой частоты поверхностный слой заготовок при прокатке быстро охлаждается за счет отвода тепла в холодную сердцевину и за счет потерь тепла через контакт с холодными валками. Быстрое охлаждение наружного слоя затрудняет процесс прокатки.

Измерение температуры последовательно нагреваемой заготовки диаметром 70 мм показало, что при движении заготовки

со скоростью 4 мм/сек и температуре нагрева в зоне индуктора 1100° на участке, удаленном от индуктора на расстояние 50 мм, температура снижается до 930°. У штучной заготовки диаметром 140 мм, высотой 28 мм, нагретой в одновитковом индукторе в течение 15 сек. до 1100°, температура на поверхности после выключения тока снижалась через 15 сек. до 800°.

Такое быстрое охлаждение потребовало применения индукционного нагрева непосредственно при прокатке.

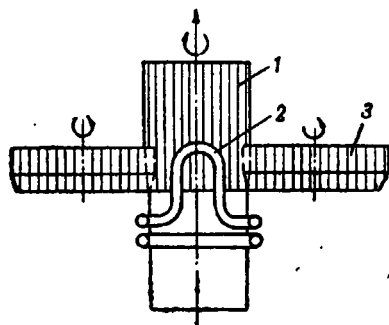


Рис. 179. Схема расположения индуктора при прокатке шестерен стопками:

1 — заготовка; 2 — индуктор; 3 — прокатные валки

Для нагрева заготовок был изготовлен ряд опытных индукторов, которые подключались к понижающему трансформатору типа УЗТ-1. Первичная катушка этого трансформатора имеет несколько секций с отдельными выводами, при различном включении которых можно легко подобрать соответствующее оптимальному режиму работы генератора напряжение на клеммах индуктора. Трансформатор был установлен с тыльной стороны стана на кронштейне. Для возможности более точной установки индуктора, жестко соединенного с трансформатором, на кронштейне имелись направляющие, по которым при помощи винтов можно было передвигать трансформатор во всех направлениях на расстояние до 30 мм. Расстояние от клемм трансформатора до оси прокатных валков равнялось 400 мм. От вторичного витка трансформатора по индуктору обычно течет ток большой силы — порядка нескольких тысяч ампер. Поэтому выводы от вторичного витка трансформатора на участке длиной 250 мм для уменьшения омического сопротивления были изготовлены из листовой меди толщиной 10 мм. К этим охлаждаемым водой выводам присоединялся индуктор.

Для нагрева прутковых заготовок наиболее удобным оказался двухвитковый индуктор с выступающей петлей (рис. 179). Индуктор, охватывая заготовку, располагается под валками. Петля индуктора высотой 60 мм размещается между валками. Такое расположение петли индуктора обеспечивает подогрев участков заготовки, на которых происходит формирование зубьев.

Заготовки диаметром 70 мм прокатывали на зубчатые колеса с модулем зуба 3 мм, со скоростью поступательного движения

6 мм/сек при нагреве в двухвитковом индукторе (при мощности генератора 95 кВт).

Использование индукционного нагрева позволило также прокатывать заготовки зубчатых колес, составленные в стопку.

Для нагрева заготовки диаметром 140 мм при штучной прокатке зубчатых колес был изготовлен петлевой индуктор с магнитопроводом (рис. 180). При помощи этого индуктора нагрев заготовки производился между валками при ее вращении во время

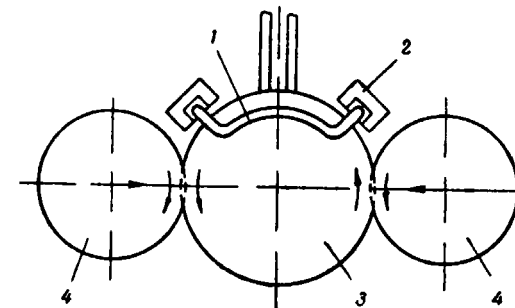


Рис. 180. Схема расположения индуктора при штучной прокатке шестерен:

1 — индуктор; 2 — магнитопровод; 3 — заготовка; 4 — прокатные валки

прокатки зубьев. Потери тепла за счет отвода с периферии холодной сердцевинной заготовки и через контакт с холодными валками при таком нагреве непрерывно компенсировались. Продолжительность нагрева заготовки до 1100° на глубину примерно 12—15 мм при мощности 75 кВт составляла 30 сек.

Значительные тепловые потери могут иметь место в индукторе на участке трансформатор—виток. Чем больше этот участок, тем больше могут быть потери. Поэтому понижающий трансформатор следует монтировать непосредственно в стане, как можно ближе к инструменту. Имеется в виду тот случай, когда нагрев производится в рабочем пространстве, где происходит непосредственное формирование зубьев, т. е. когда заготовка после нагрева или при нагреве тут же прокатывается.

Тепловые потери могут происходить также вследствие индуктирования токов в лежащих вблизи от индуктора металлических частях стана. Однако эти потери зависят не только от расстояния между индуктором и частями стана, но и от общего расположения этих частей и конструкции индуктора. При соответствующей конструкции индуктора токопровод его может практически проходить от отдельных частей стана весьма близко. В данном случае наименьшее расстояние между индуктором и частями стана

составляло 15 мм, наибольшее — 65 мм. Несмотря на такое близкое расстояние от индуктора, металлические части стана нагревались весьма незначительно. Например, после 30-мин. работы наиболее близко расположенный от токопровода участок станины нагрелся лишь до 40°. Рабочие валки нагревались в большей степени от контакта с горячей заготовкой, чем от индуктируемых токов.

2. ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ СТАНОВ ДЛЯ ПРОКАТКИ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС

Станы ЦКБММ-13 и ЦКБММ-22

Электрооборудование станов ЦКБММ-13 и ЦКБММ-22, аналогичное в отношении системы привода и схемы управления, рассмотрим на примере стана ЦКБММ-22. Стан предназначен для штучной и прутковой прокатки зубчатых колес диаметром от 25 до 200 мм с шириной обода от 15 до 230 мм и имеет два электропривода для вращения рабочих валков и механизма установки валков и два гидропривода для механизма зажима заготовки и для подачи заготовки.

Оба механизма с гидроприводом имеют электрическое дистанционное управление с помощью электромагнитов.

Главный привод, служащий для вращения рабочих валков, осуществлен от двигателя постоянного тока мощностью 13,5 кВт через цилиндрический редуктор и соответствующие передачи (см. кинематическую схему на рис. 181). Применение двигателя постоянного тока вызвано потребностью регулирования скорости вращения валков в зависимости от сортамента, а также в связи с возможностью работы с относительно частыми реверсами валков при штучной прокатке.

В местах установки стана может отсутствовать сеть постоянного тока требуемой мощности, вследствие чего питание двигателя рабочих валков осуществляется от отдельного генератора мощностью 16,2 кВт, 220 в. Генератор входит в состав трехмашинного преобразовательного агрегата, имеющего асинхронный двигатель мощностью 22 кВт и возбудитель мощностью 2 кВт. Последний питает обмотку возбуждения двигателя и цепи управления. Обмотка возбуждения генератора с целью интенсивного и наиболее оптимального протекания переходных процессов питается от электромашинного усилителя (ЭМУ).

Ввиду наличия отдельного генератора с управляемым возбудителем — ЭМУ, — регулирование скорости двигателя валков производится изменением питающего напряжения. Такая схема позволяет сократить время протекания переходных процессов и, кроме того, уменьшается нагрев двигателя.

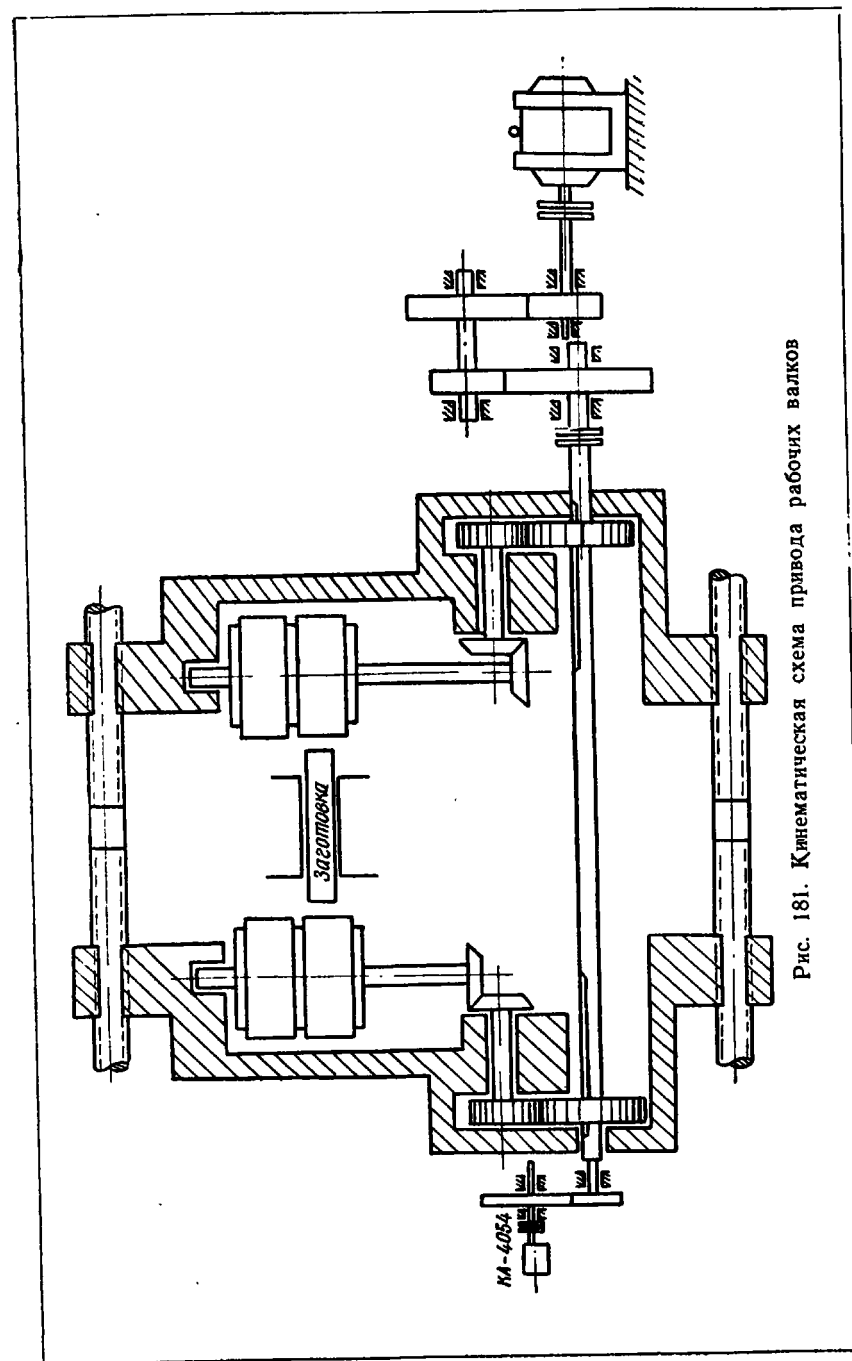


Рис. 181. Кинематическая схема привода рабочих валков

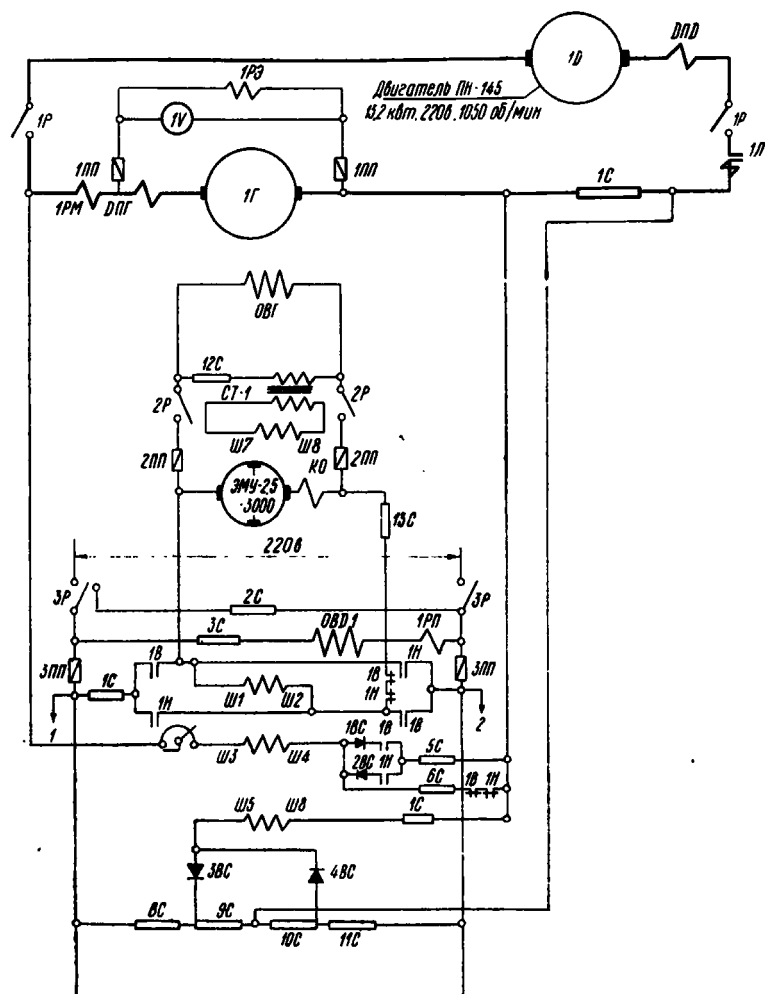
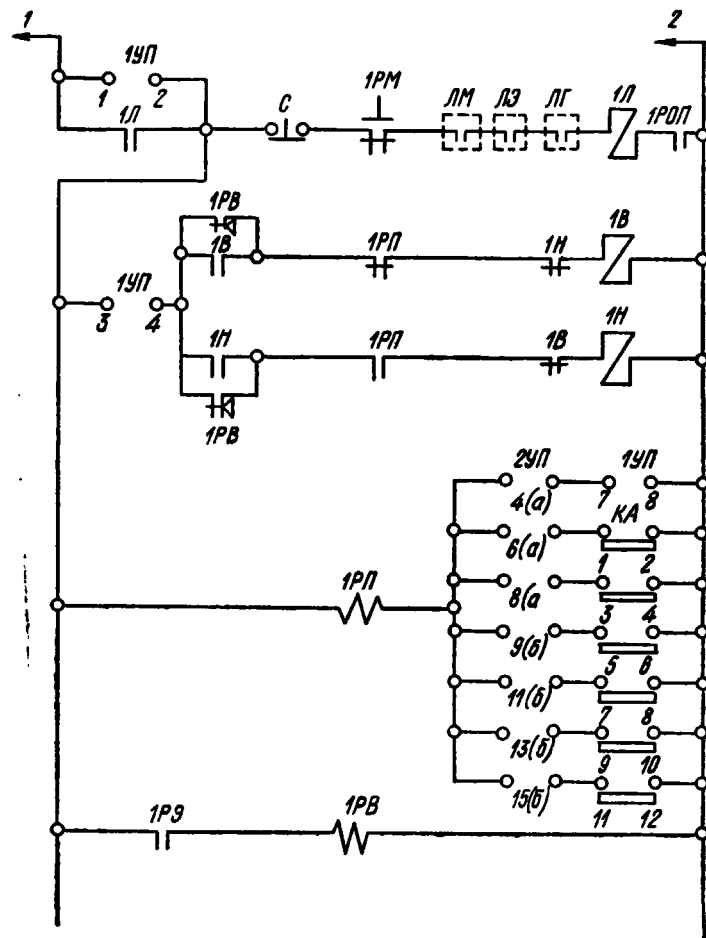


Рис. 182. Принципиальная схема



управления двигателем главного привода

Принципиальная схема управления двигателем главного привода представлена на рис. 182. Она обеспечивает следующие технологически заданные режимы работы: а) вращение рабочих валков в обе стороны в зависимости от положения управляющего аппарата; б) бесступенчатое регулирование скорости; в) при работе в полуавтоматическом режиме периодическое реверсирование валков через каждые $4 \div 10$ оборотов; г) возможность установки при наладке определенного времени протекания переходных процессов.

Перед пуском стана должны быть запущены преобразовательные агрегаты и замкнуты рубильники в главной цепи, а также в цепях возбуждения и управления ($1P$, $2P$, $3P$). После этого универсальный переключатель выбора режима $2УП$ ставится в нужное положение (ручной или полуавтоматической работы), а переключатель $1УП$ в положение «вперед» или «назад».

При ручной работе и положении $1УП$ «вперед» через нормально закрытые ($HЗ$) контакты $1РП$ и $1РВ$ возбуждается катушка контактора $1В$, контакты которого подают питание задающей обмотке ЭМУ ($W_1 - W_2$). Блокконтакт $1В$ зашунтирует $HЗ$ контакты $1РВ$, обеспечивая питание катушки контактора на все время хода валков «вперед». Начнется разгон двигателя до скорости, соответствующей положению регулировочного реостата K_p , помещенного в цепи обмотки ЭМУ ($W_3 - W_4$), обеспечивающей обратную связь по напряжению генератора. Обмотка обратной связи по току ($W_5 - W_6$) ограничивает ток в переходных режимах, контролируя темп ускорения и замедления двигателя. Сила тока определяется при наладке стана путем подбора соответствующего напряжения сравнения, снимаемого с потенциометра ($8C - 11C$), а также подбором последовательного сопротивления $7C$.

Для остановки двигателя главного привода переключатель $1УП$ должен быть установлен в положение «стоп». При этом разомкнутся контакты $3-4$ этого переключателя, катушка контактора $1В$ потеряет питание и задающая обмотка ЭМУ будет отключена от сети. Интенсивное торможение двигателя обеспечивается отрицательной обратной связью по напряжению, которая создает ташение поля генератора через ЭМУ. Ток рекуперации, как уже было отмечено, контролируется токовой обмоткой ЭМУ по падению напряжения в сопротивлении $1C$.

При пуске двигателя «назад» все перечисленные операции происходят в той же последовательности. Разница будет лишь в том, что питание обмотки ЭМУ, задающей направление вращения, будет обеспечиваться контактами контактора $1Н$. Питание катушки $1Н$ происходит через $НО$ контакты реле $1РП$, которое в свою очередь возбуждается через замкнутые в положении «назад» контакты $7-8$ переключателя $1УП$ и контакты $4(a)$ $2УП$.

Полуавтоматический режим работы задается в том случае,

когда прокатка шестерни должна происходить при реверсировании рабочих валков после того, как они сделают в одном направлении определенное число оборотов. Это число оборотов может быть от 4 до 10, а задается оно соответствующим положением рукоятки переключателя выбора режима $2УП$. Контакты $2УП$ помещены в цепях шестипозиционного командо-аппарата $КА-4054$. Включающие и выключающие кулачки командо-аппарата расставлены в шайбах на различные углы от -120 до 300° , что и соответствует, согласно выбранному передаточному числу кинематического редуктора, повороту валков от 4 до 10 оборотов.

Пуск стана, как и при ручном управлении, осуществляется поворотом рукоятки $1УП$ в положение «вперед» (или «назад»). После того как валки совершат заданное число оборотов, через выбранный контакт $КА$ замкнется цепь катушки реле $1РП$. Kontakтами этого реле обесточится катушка $1В$ и подготовится к включению цепь катушки контактора $1Н$. Начнется торможение двигателя до его остановки. Включение двигателя на ход «назад» произойдет не сразу, а с некоторой, создаваемой реле $1РВ$ выдержкой времени. Эта выдержка необходима для небольшого разведения валков перед реверсом нажимным устройством. Реверс при зажатой заготовке недопустим, так как может привести к ее заклиниванию и повреждению. Управляется реле времени $1РВ$ с помощью реле э. д. с. $1РЭ$, которое настроено таким образом, что втягивает при 50 в, а отпускает примерно при 15 в. Таким образом, уже в период пуска валков на ход «вперед» реле $1РВ$ возбуждено, и его $HЗ$ контакты в цепях катушек $1В$ и $1Н$ разомкнуты. В процессе снижения напряжения генератора при торможении катушка реле $1РЭ$ теряет питание, а его $НО$ контакты обеспечивают катушку реле $1РВ$. $HЗ$ контакты $1РВ$ в цепи контактора $1Н$ с выдержкой времени замкнутся, и двигатель валков стана начнет разгоняться в обратном направлении.

После совершения валками заданного числа оборотов в направлении «назад» контакты соответствующей цепи $КА$ снова разомкнутся и переключением контактного реле $1РП$ после выдержки времени, создаваемой реле $1РВ$, к сети вновь окажется подключенным контактор $1В$ и так далее. Если в исходном положении при пуске стана контакты $КА$ были замкнуты, то валки первоначально получают вращение в направлении «назад», а далее работа будет происходить в порядке, описанном выше.

Привод механизма установки валков, с помощью которого осуществляется движение подачи, выполнен по кинематической схеме, представленной на рис. 183. При накатке прутка валки устанавливаются заранее, и положение их в процессе прокатки остается неизменным. При штучной прокатке зубчатых колес в процессе работы стана происходит постепенное внедрение валков в заготовку, т. е. привод нажимного устройства находится в ра-

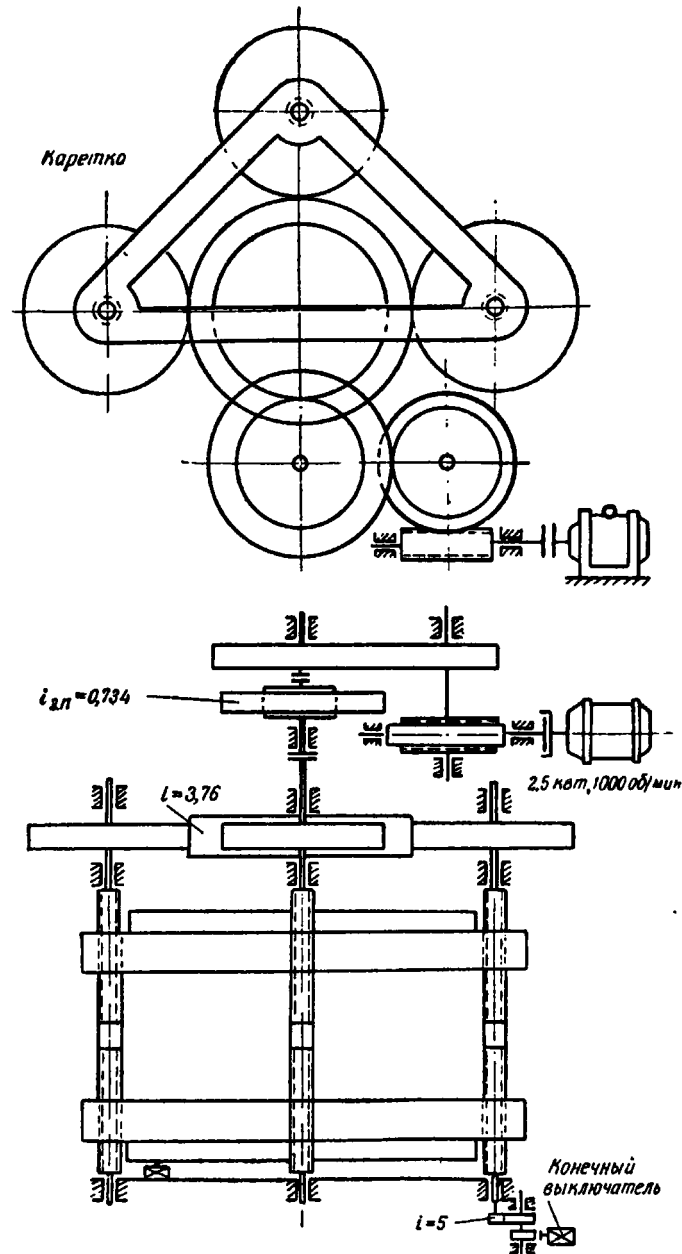


Рис. 183. Кинематическая схема привода механизма для установки валков

боте. В соответствии с технологическим процессом этот привод и схема управления им должны удовлетворять следующим требованиям: а) при ручном управлении должна быть обеспечена возможность пуска двигателя в обе стороны («вперед» и «назад») в зависимости от положения переключателя; б) при работе, «вперед», что соответствует внедрению валков в заготовку, должна быть обеспечена возможность выбора одной из следующих четырех ступеней скорости двигателя (в долях от номинальной скорости вращения): n_n ; $0,5 n_n$; $0,25 n_n$ и $0,125 n_n$. Это требование относится к работе привода как при ручном, так и при полуавтоматическом управлении; в) при полуавтоматическом режиме работы перед реверсом главного привода валки должны разводиться примерно на $0,01$ мм на сторону; г) при ходе валков «назад» двигатель должен работать только с номинальной скоростью вращения; д) ход валков в обе стороны должен ограничиваться путевыми выключателями, причем ограничение хода «вперед» должно производиться с точностью, соответствующей требованиям обработки зубьев шестерни.

Ввиду широкой регулировки скорости двигателя (1 : 8), а также необходимости точной остановки механизма для привода нажимного устройства применена система генератор-двигатель (Г-Д) с электромашинным усилителем в качестве возбудителя генератора. Весь диапазон регулирования скорости вращения двигателя обеспечивается за счет изменения напряжения генератора.

Построение схемы управления двигателем установки валков, представленной на рис. 183, аналогично схеме главного привода. В своей принципиальной части оно отличается лишь добавочной положительной обратной связью по току главной цепи через ЭМУ. Для этой обратной связи используется стабилизирующая обмотка ($W_{15} - W_{16}$), т. е. та же обмотка, которая служит для гашения колебаний, могущих возникнуть в регулирующей системе. Для создания составляющей э. д. с. ЭМУ, пропорциональной току главной цепи и компенсирующей, таким образом, падение напряжения в двигателе и генераторе, на обмотку подается напряжение, снимаемое с сопротивления $14C$. Таким образом, механическая характеристика двигателя во всем диапазоне скоростей получается достаточно жесткой.

Схема управления нажимным устройством обеспечивает работу в ручном и полуавтоматическом режиме. Выбор режима работы производится универсальным переключателем 3УП. При ручном управлении после установки 3УП переключатель 4УП ставится в одно из рабочих положений в зависимости от требуемой скорости двигателя и направления его вращения.

Как видно из схемы замыкания контактов 4УП, каждому положению рукоятки «вперед» соответствует определенная вели-

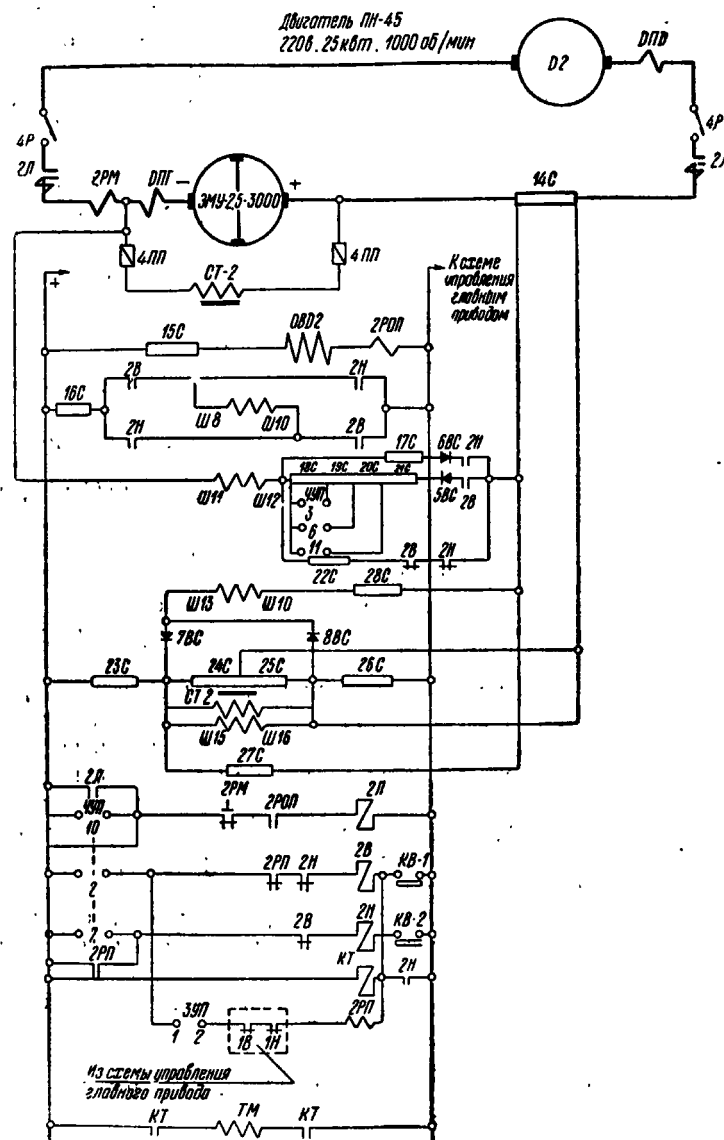


Рис. 184. Элементная схема управления двигателем для установки валков

чина сопротивления в обмотке напряжения ЭМУ, что создает соответствующее напряжение генератора. Для остановки двигателя рукоятка 4УП ставится в положение «стоп». При этом торможение происходит как за счет гашения поля генератора, так и за счет наложения механического тормоза, катушка которого ТМ теряет питание при всяком возврате 4УП в нулевое положение. Для работы механизма установки валков в полуавтоматическом режиме 3УП ставится в положение «авт» вследствие чего замыкаются его контакты в цепи катушки реле 2РП. Переключатель 4УП ставится в одно из рабочих положений «вперед», и валки начинают внедряться в заготовку с заданной скоростью.

При каждом реверсе двигателя главного привода имеет место определяемый выдержкой реле 1РВ промежуток времени, когда НЗ контакты 1В и 1Н замкнуты. При этом возбуждается реле 2РП, которое своими НО и НЗ контактами отключает контактор 2В и подключает катушку контактора 2Н. Происходит кратковременный реверс двигателя установки валков, обеспечивающий разведение их перед изменением направления вращения главного привода. После размыкания НЗ контакты 1В (или 1Н) катушка реле 2РП теряет питание, нажимное устройство снова реверсируется, и внедрение валков в заготовку продолжается.

Для получения более точного размера зуба остановка двигателя происходит с помощью системы двух конечных выключателей. Система грубого отсчета пройденного валками пути осуществляется с помощью рычажного путевого выключателя типа ВК-211, на который воздействует кулачок. Ось кулачка связана с механизмом нажимного устройства кинематическим редуктором, передаточное число которого выбрано с таким расчетом, что поворот кулачка на 300° соответствует полному рабочему ходу валков. Изменением положения кулачка относительно рычага выключателя ВК-211 создают разную длину рабочего хода валков.

В качестве путевого выключателя точного отсчета пройденного валком пути применен вращающийся командо-аппарат типа КА-4024. Передаточное число редуктора, связывающего нажимные винты с валом командо-аппарата, подобрано таким, что один оборот последнего соответствует 1 мм хода валков. Отключающие контакты КА заблокированы до определенного хода валков контактами ВК и только когда остается около 1 мм хода, что более возможной погрешности системы грубого отсчета, контакты ВК размыкаются и первое же размыкание контактов КА приводит к остановке двигателя нажимного устройства. Для установки вала КА на требуемый угол при наладке стана на данный сортament его вал связан с редуктором посредством регулируемой червячной муфты, имеющей диск с делениями по окружности.

Механизмы зажима и подачи заготовки имеют, как уже было отмечено, гидравлический привод. Кинематические схемы этих механизмов представлены на рис. 184. Подача масла в гидросистему осуществляется двумя насосами, имеющими общий приводной асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором мощностью 5 кВт. Один из насосов ПР-1416 работает только при наполнении системы до давления 25 атм, а затем переключается на работу на «слив». Второй насос меньшей производительности (тип ПР-140 — на давлении 60 атм) работает после наполнения системы.

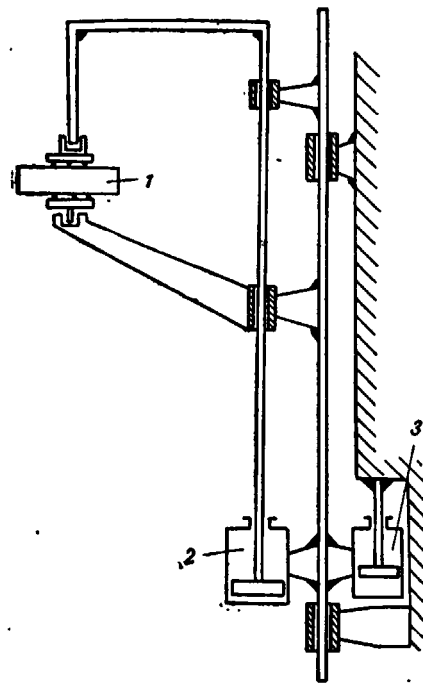


Рис. 185. Кинематическая схема механизма зажима и подачи заготовки: 1 — заготовка; 2 — цилиндр зажима; 3 — цилиндр подачи

Механизм зажима, удерживающий заготовку при прокатке, управляется реверсивным электромагнитным золотником типа РМ-19 завода «Гидропривод». Зажимающие шайбы имеют возможность вращаться вместе с заготовкой вокруг своей вертикальной оси. Механизм подачи заготовки, перемещающий ее вдоль оси прокатки, управляется реверсивным электромагнитным золотником РПС-19. Скорость подачи может регулироваться посредством гидравлического регулятора скорости Г-5512.

Схема управления механизмами с гидроприводом представлена на рис. 186. Двигатель масляных насосов управляется с помощью контактного блока и кнопок управления, помещенных в цепи катушки контактора.

Управление электромагнитами золотников производится оператором с поста универсальными переключателями 5УП и 6УП. При положении 5УП, соответствующем замкнутым контактам 1—2 и 5—6, возбуждается электромагнит СПЗ, который открывает подачу масла в цилиндр для зажима заготовки. Одновременно возбуждается электромагнит СБ, открывающий клапан подачи масла в систему. Для подачи заготовки на прокатку («вверх») универсальный переключатель 6УП ставится в положение «вверх». При этом замыкаются его контакты 1—2 в цепи

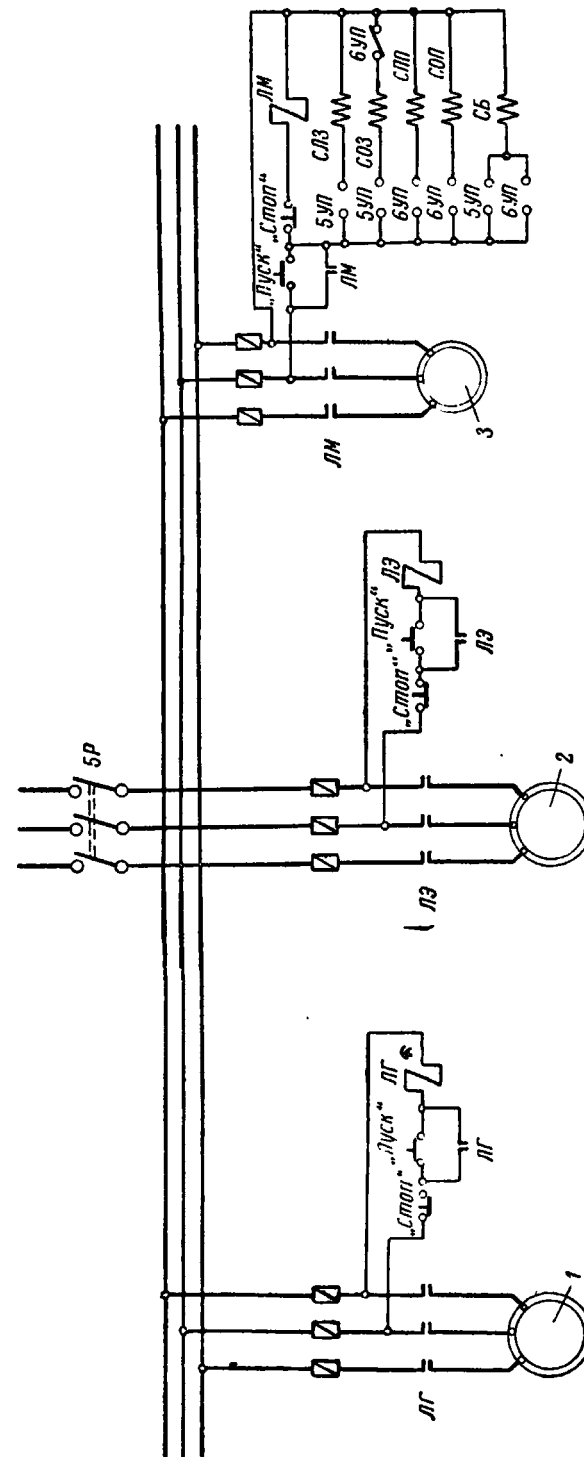


Рис. 186. Элементарная схема управления механизмами и гидроприводом: 1 — двигатель МА203-1/4, 220/380 в, 22 кВт, 1450 об/мин; 2 — двигатель АД42/8, 220/380 в, 7,2 кВт, 2935 об/мин; 3 — двигатель АД 51/6, 220/380 в, 5 кВт, 970 об/мин

электромагнита СПП золотника привода подачи и контакты 7—8, подающие питание электромагниту СБ для подачи масла в систему. Одновременно размыкаются контакты 5—6 в цепи электромагнита СОЗ и тем самым предотвращается возможность освобождения цилиндра зажима заготовки во время прокатки.

Для обратной подачи рукоятка БУП переводится в положение «вниз» и заготовка выводится из валков. Регулирование скорости при подаче производится предварительной установкой гидравлического регулятора скорости Г-5512.

На основании опыта эксплуатации станов прокатки шестерен ЦКБММ-13 и ЦКБММ-22 были спроектированы и изготовлены новые станы ЦКБММ-58 и ЦКБММ-61 с некоторым отличием в кинематике. Основное изменение, которое внесено в новые станы, сводится к принудительному вращению заготовки, что позволяет получить более качественный профиль зубьев шестерен. Скорость принудительного вращения должна соответствовать передаточному числу между валками и прокатываемой шестерней. Кинематические схемы механизмов с электроприводом, к которым относятся главный привод и прижимное устройство, представлены на рис. 187. Вращение заготовки от двигателя главного привода передается через сменные шестерни, которые подбираются соответственно передаточному числу между рабочими валками и заготовкой.

3. ПРОКАТКА КОНИЧЕСКИХ ШЕСТЕРЕН

Изготовление конических шестерен весьма трудоемкий процесс, связанный с применением дорогостоящего оборудования и инструмента. Поэтому применение высокопроизводительного и дешевого способа прокатки для изготовления конических шестерен является исключительно перспективным, особенно при изготовлении крупномодульных шестерен.

Исследования, выполненные во ВНИИМЕТМАШ канд. техн. наук М. В. Барбаричем, позволили разработать способ прокатки конических шестерен с прямыми и спиральными зубьями.

В основу процесса прокатки конических шестерен зубчатыми валками положен принцип обкатки, при котором два конуса сопряженных колес зубчатого валка и заготовки катятся друг по другу по образующим без скольжения.

Процесс нарезания зубьев на зубообрабатывающих станках производится таким образом, что инструмент внедряется сразу на полную высоту зуба, а затем начинается обкатка заготовки по воображаемому плоскому колесу. При этом вершины образующих конусов плоского колеса и заготовки совпадают в общей точке.

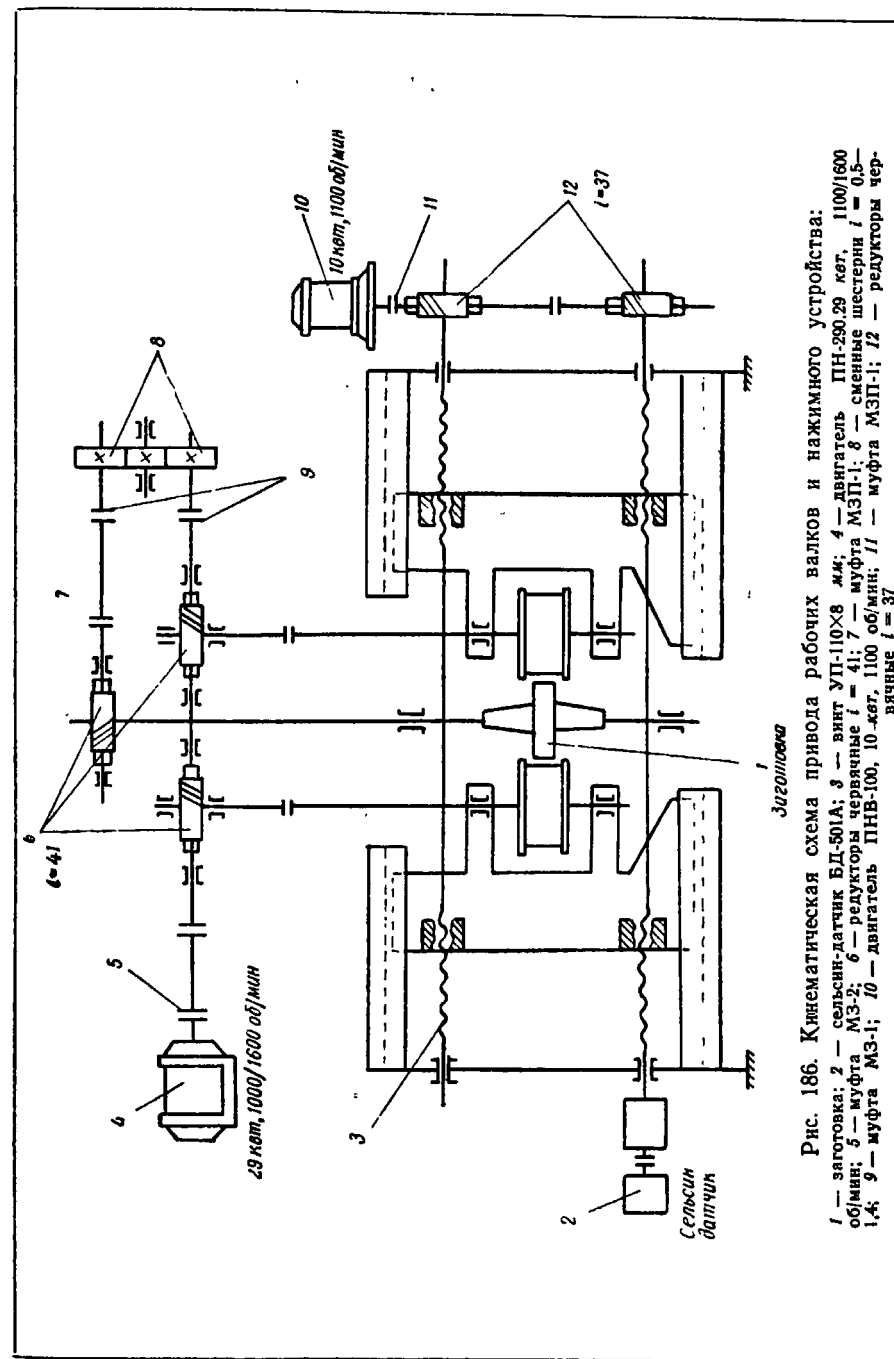
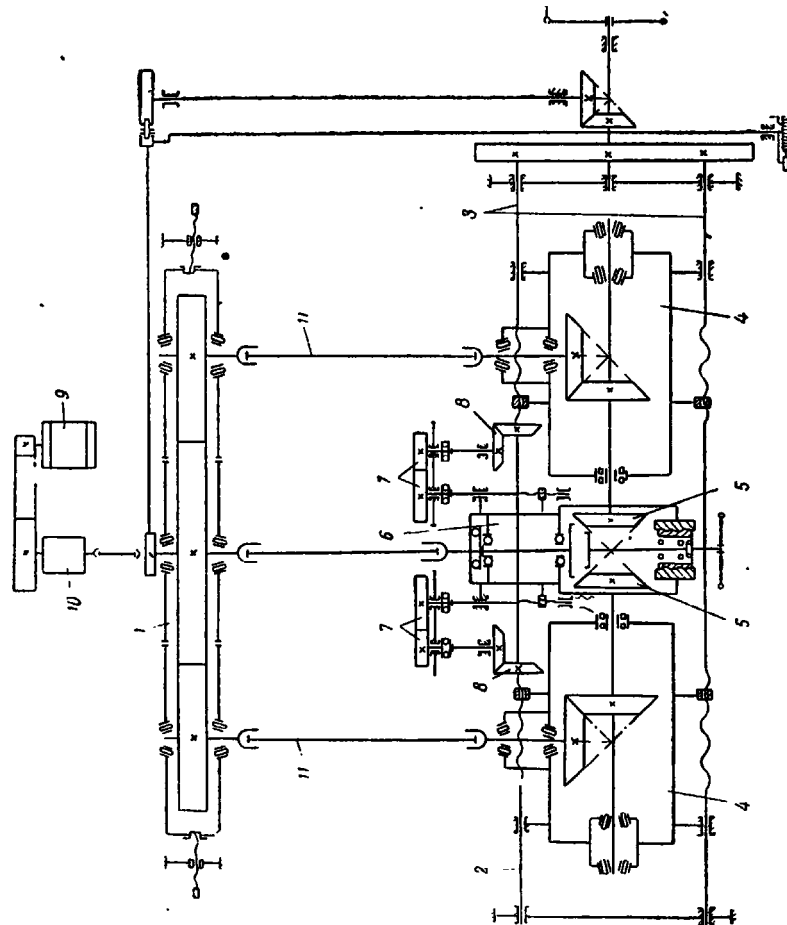


Рис. 186. Кинематическая схема привода рабочих валков и нажимного устройства:
1 — заготовка; 2 — сельсин-датчик БД-501А; 3 — винт УП-110Х8 мм; 4 — двигатель ПН-250/29 кет, 1100/1600 об/мин; 5 — муфта МЗ-2; 6 — редукторы червячные $i = 41$; 7 — муфта МЗП-1; 8 — сменные шестерни $i = 0,5$ —1,4; 9 — муфта МЗП-1; 10 — двигатель ПНВ-100, 10 кет, 1100 об/мин; 11 — муфта МЗП-1; 12 — редукторы червячные $i = 37$

Рис. 188. Кинематическая схема стана ЦКБММ-42 для прокатки конических шестерен:

1 — шестеренчатая клеть; 2 — рабочая клеть; 3 — винты; 4 — каретки; 5 — конические валки; 6 — подвижной корпус; 7 — шестерня; 8 — коническая шестерня; 9 — электродвигатель; 10 — коробка скоростей; 11 — универсальные шпиндели



При прокатке конических шестерен вершины начальных конусов заготовки и инструмента совпадают в общей точке только в конце процесса прокатки. Боковая профильная поверхность конических зубьев получается при этом как огибающая бесчисленного множества последовательных положений профиля зуба конического прокатного вала, совершающего сложное движение, состоящее из движения обкатки и движения подачи.

Опытный стан ЦКБММ-42 предназначен для горячей прокатки конических шестерен с модулем до 4,5 мм и диаметром до 200 мм.

Кинематическая схема стана ЦКБММ-42 для прокатки конических шестерен приведена на рис. 188. Основными узлами стана являются шестеренная клеть 1 и рабочая клеть 2. В рабочей клетке на винтах 3 смонтированы каретки валков 4, в которых закреплены два конических валка 5. При вращении винтов 3, имеющих правую и левую резьбу, каретки 4 одновременно сближаются или расходятся. Заготовка закреплена на каретке 6, которая связана с одним из винтов 3 сменными шестернями 7 и коническими шестернями 8. Заготовка и валки приводятся во вращение от регулируемого электродвигателя постоянного тока 9 через коробку скоростей 10, шестеренную клеть 1 и универсальные шпиндели 11.

Прокатка шестерен производится следующим образом. Индуктор поднимается вместе с трансформатором специальным гидравлическим цилиндром, после чего заготовка надевается на шпиндель каретки. Затем индуктор опускается в исходное положение и включается в цепь машинного генератора; одновременно с этим от электродвигателя приводятся во вращение валки и заготовка.

После нагрева заготовки до 1100—1150° включается механизм подачи и приводятся во вращение винты кареток. При этом происходит одновременное сближение кареток до заранее заданного размера, который контролируется индикатором. Во время сближения кареток конические валки деформируют нагретую поверхность заготовки, образуя на ней зубья. Торцовые шайбы ограничивают течение металла с поверхности заготовки в боковом направлении, способствуя тем самым хорошему заполнению зубьев.

На стане можно прокатывать конические шестерни с прямыми и спиральными зубьями, что достигается сменой зубчатых валков. При прокатке шестерен различных диаметров меняются рабочие калиброванные шестерни (валки) и шестерни шестеренной клетки.

На рис. 189 показаны заготовка (справа), применяемая для прокатки конических шестерен, и готовая прокатанная шестерня со спиральным зубом ($m = 4,5$ мм).

Основные силовые параметры процесса прокатки

При прокатке конических шестерен основными силовыми параметрами являются давление Q металла на валки и крутящий момент M валков.

В процессе проведения опытных работ М. В. Барбаричем была проверена зависимость величин Q и M от калибровки прокатных валков и режимов прокатки. Установлено, что наибольшее

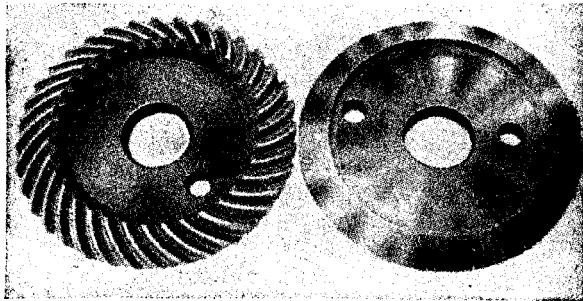


Рис. 189. Заготовка для прокатки конических шестерен и готовая шестерня со спиральным зубом, прокатанная на стане ЦКБММ-42

давление металла на валки за время контакта каждого зуба возникает при совпадении оси зуба валка с осью впадины заготовки. В этом положении проекция контактной площади в конце прокатки на направление, перпендикулярное оси зуба валка, определяется равенством

$$F = 2,82m_{cp}b \sin \alpha_{cp}, \quad (109)$$

где m_{cp} — средний модуль зуба валка, мм;

b — ширина валка, мм;

α_{cp} — угол между касательной и средней точкой профиля контакта и осью зуба.

Формула для определения давления металла на валки в этом случае имеет вид:

$$Q = [2,82ab (\sin \alpha_{cp} + \mu \cos \alpha_{cp}) + c] p_{cp} m_{cp}, \quad (110)$$

где a — коэффициент, учитывающий число одновременно работающих зубьев валка;

c — коэффициент, учитывающий обжатие торцов заготовки боковыми ограничительными дисками;

μ — коэффициент трения;

p_{cp} — среднее удельное давление, кг/мм².

Коэффициенты a и c определены экспериментально. С учетом их значений формула для определения величины давления металла на валки имеет вид:

$$Q = 2,3p_{cp}m_{cp} \cdot b \text{ кг.} \quad (110a)$$

Для определения крутящего момента на шпинделях рабочих валков при прокатке конических шестерен М. В. Барбаричем рекомендуется формула

$$M = 3,86 \cdot 10^{-3} \frac{p_{cp} b m_{cp}^2}{i^2} \cdot (1 + i^2) \cos \gamma_1 \text{ кгм,} \quad (111)$$

где i — передаточное отношение от заготовки к валку;

γ — половина угла наружного конуса валка.

Величина среднего удельного давления p_{cp} определена М. В. Барбаричем экспериментально. При нагреве заготовок под прокатку до 1100—1180° и при вышеуказанных условиях прокатки рекомендуется принимать значение p_{cp} , равное 22 кг/мм².

Причины возникновения дефектов на прокатанных шестернях

Одной из основных причин, вызывающих необходимость дополнительной механической обработки шестерен, изготовленных способом горячей прокатки, являются поверхностные дефекты на накатанных зубьях.

Основными дефектами зубьев прокатанных конических шестерен являются: слоистость металла во впадинах и ножках зубьев, закаты на боковой профильной поверхности и раскаты плен на головках зубьев.

Все дефекты ориентированы, как правило, определенным образом по отношению к направлению вращения заготовки.

Результаты проведенных М. В. Барбаричем исследований показали, что основными источниками поверхностных дефектов зубьев являются: контактные силы трения, действующие на профильных поверхностях зубьев, неправильный выбор калибровки валков и режимов накатки и неправильная настройка валков.

Силы трения способствуют в основном возникновению закатов на боковой профильной поверхности и плен на головках зубьев.

Калибровка валков оказывает влияние на характер и глубину дефектов во впадинах и на ножках зубьев. Установлено, что на этих участках шестерен дефекты возникают в основном за счет «соскабливания» частиц металла головками зубьев валков с ножек накатываемых зубьев и их тангенциального перемещения во впадинах.

Исследование влияния калибровки валков и режимов прокатки на качество накатанных зубьев позволило установить, что лучшее качество шестерен обеспечивает применение валков с коэффициентом смещения 0,3.

Сопоставление макрошлифов, взятых из шестерен, прокатанных по различным режимам, показывает, что при прокатке конических шестерен при указанных выше условиях процесса прокатки следует применять окружную скорость валков 0,15—0,25 м/сек и скорость сближения валков 0,25—0,7 мм/сек. Указанные оптимальные скорости вращения валков и скорости их сближения не могут рассматриваться обязательными для других условий прокатки, отличных от условий, в которых производились опытные работы.

Неправильная угловая настройка валков может также служить причиной появления дефектов. Эти дефекты возникают на головках зубьев и боковых профильных поверхностях. Наиболее радикальным средством устранения таких дефектов является применение одного накатного валка.

Точность конических шестерен, изготовленных прокаткой

Для оценки точности способа прокатки шестерен М. В. Барбаричем замерялись ошибки окружного шага прокатанных шестерен, проверялись расположение и величина «пятна касания» и уровень шума при обкатке с эталонными шестернями на обкатном станке.

Наибольшая ошибка окружного шага у прокатанных шестерен с модулем 4,5 мм и числом зубьев 36 составляет 0,10 мм и наибольшая накопленная ошибка 0,46 мм. По ГОСТ 1758—52 для шестерен четвертого класса точности указанных выше размеров, изготовленных на зуборезном станке, допускается соответственно 0,11 и 0,50 мм.

При проверке по «пятну касания» установлено, что зубья прокатанных шестерен контактируют с зубьями эталонных шестерен по всей длине. Такая форма контакта не отвечает соответствующим стандартам, согласно которым пятно касания должно быть расположено центрально по высоте зуба со смещением по длине зуба к его узкому концу. Для удовлетворения этих стандартов надо вносить поправку в калибровку валков: для шестерен со спиральными зубьями — на угол наклона спирали; для прямозубых шестерен — на толщину зуба.

Замер уровня шума специальным прибором — шумомером Ш-32, установленном на расстоянии 200 мм от обкатного станка, показал, что уровень шума при вращении шестерен со спиральными зубьями с модулем 4,5 мм и числом зубьев 36 составлял при окружной скорости 12 м/сек 80 децибелл, что несколько

выше, чем уровень шума от конических автомобильных шестерен со спиральным зубом ($m=4$ мм; $i=1$), изготовленных на зуборезных станках.

М. В. Барбаричем проведены оригинальные эксперименты с применением радиоактивных изотопов. Были прокатаны конические шестерни с модулем 3 мм и числом зубьев 54, валками с $\xi=0$, при неполном обжатии зубьев до $\Sigma h=4,5$. На боковую профильную поверхность зубьев наносились радиоактивные изотопы углерода, места расположения которых фиксировались на рентгеновской пленке. После нанесения изотопов шестерни обжимались до полной высоты ($\Sigma h=6,6$ мм) и расположение изотопов снова фиксировалось на рентгеновской пленке. Сравнение рентгеновских снимков зубьев шестерен до и после деформации указывает направление перемещения поверхностных слоев металла при прокатке, так как изотопы, нанесенные на боковую профильную поверхность, переместились на дно впадины и на основание профильной поверхности.

В результате проведенного М. В. Барбаричем теоретического анализа, подтвержденного экспериментально, выяснилось, что для получения качественных прокатанных зубьев следует применять валки с отрицательным коэффициентом смещения. Оптимальным коэффициентом смещения для конкретных условий, имевших место в опытных работах М. В. Барбарича, следует считать $\xi=-3$.

Нагрев заготовок под прокатку

Для нагрева заготовок использовался машинный генератор типа ВТО мощностью 250 кВт с частотой 2500 гц. При исследовании индукторов различных конструкций путем замеров температуры заготовок, времени нагрева и потребляемой мощности установлено, что для нагрева наиболее целесообразным является секторный индуктор с железным сердечником Ш-образной формы. Время нагрева таким индуктором заготовок диаметром 180 мм и шириной венца 20 мм до температуры 1150° на глубину 5—10 мм составляет 35—50 сек. при потребляемой мощности 90—100 кВт. Зазор между поверхностью заготовки и шинами индуктора в начале нагрева не должен превышать 3—4 мм; в процессе прокатки этот зазор следует сохранять постоянным за счет постепенного отвода индуктора.

Железо магнитопровода должно перекрывать торец заготовки со стороны большого модуля на величину 1—2 модулей.

Основным фактором, определяющим эффективность секторного индуктора, является величина угла охвата заготовки. Для повышения к.п.д. индуктора и снижения стоимости нагрева заготовок следует применять индукторы с большим углом охвата,

что может быть достигнуто за счет применения при прокатке одного накатного вала.

Производительность процесса прокатки конических шестерен

Время, требующееся для прокатки конической шестерни, может быть определено по формуле

$$t = t_1 + t_2 + t_3 \text{ сек.},$$

где t_1 — время, затрачиваемое на пластическую деформацию и калибровку прокатанных зубьев;

t_2 — время, затрачиваемое на нагрев заготовки;

t_3 — вспомогательное время (на установку и снятие заготовки и т. д.).

Время, затрачиваемое на пластическую деформацию, зависит от выбранной скорости сближения валков и модуля прокатываемой шестерни.

Скорость сближения валков v может быть рекомендована, исходя из полученных при исследовании процесса результатов, в пределах от 0,05 до 0,10 мм/сек. Путь, проходимый валками до получения полной высоты зуба, определяется равенством

$$s = \frac{1,2m}{\sin \gamma + i \sin \beta}, \quad (112)$$

где γ — угол начального конуса вала;

i — передаточное отношение от заготовки к валкам.

β — угол начального конуса заготовки.

Тогда время пластической деформации будет равно

$$t_1 = \frac{s}{v} \text{ сек.}$$

Прокатка конических шестерен ($m = 3$ мм, $z = 54$) на стане производилась при $v = 0,07$ мм/сек валками, у которых $\gamma = 26^\circ 40'$. Подставив эти значения в уравнение, получим $t_1 = 23$ сек.

Для получения лучшего качества зубьев шестерен в конце процесса прокатки производится калибровка — обкатка без осевой подачи валков, для чего заготовка должна сделать 5—6 оборотов. Прокатка шестерен производилась при $n = 80$ об/мин, время калибровки в этом случае составляет 5 сек. Общее время на пластическую деформацию и калибровку при прокатке конических шестерен с модулем 3 составляет 28 сек.

4. ПОПЕРЕЧНАЯ НАКАТКА КРУПНОЙ РЕЗЬБЫ

Накатка резьбовых профилей является новым способом обработки металлов давлением, который находит все более широкое применение в промышленности. Еще недавно накатка при-

менялась для изготовления главным образом мелких метрических резьб сравнительно небольшой длины. Однако в последние годы разработана и освоена накатка различных резьб на легированных и углеродистых сталях, в том числе накатка трапецеидальных и других специальных резьб с крупным шагом. Это оказалось возможным благодаря разработке новых конструкций накатного инструмента и конструкций современных резьбонакатных станков. Оборудование для накатки резьбы может быть с успехом использовано для обработки различных фасонных поверхностей вращения (червяки, шестерни, канавки, уступы, рифления и т. п.).

Таким образом, можно процесс накатывания использовать гораздо шире, не ограничиваясь только областью получения резьбы.

Наибольшее распространение имеют резьбонакатные станки роликового типа, работающие по схеме поперечной прокатки. Эти станки имеют простую и жесткую конструкцию, обеспечивают высокую производительность и хорошее качество накатываемой резьбы.

Процесс накатки на станках роликового типа заключается в следующем. Заготовку устанавливают между двумя накатными роликами с параллельными осями. Ролики вращаются в одном направлении; один из роликов неподвижен, а другой — в процессе накатывания совершает движение подачи (обычно под действием гидравлики). При сближении на заданное межцентровое расстояние ролики увлекают во вращение заготовку и накатывают на ней свой негативный отпечаток. Резьбонакатные ролики имеют многозаходную резьбу, профиль которой соответствует профилю впадин накатываемой резьбы и противоположное направление.

Число заходов резьбы на роликах определяют из условия совпадения углов подъема резьбы на ролик и на заготовке, что приводит к соотношению

$$\frac{D_k}{d_k} = \frac{m}{k},$$

где D_k — катающий диаметр ролика;

d_k — катающий диаметр заготовки (диаметр сцепления);
 m и k — число заходов резьбы на роликах и на заготовке.

Катающие диаметры определяются из условия

$$\frac{D_k}{d_k} = \frac{\omega_p}{\omega_z},$$

где ω_p — угловая скорость роликов;

ω_z — угловая скорость заготовки.

Таким образом, предполагается, что на катающем диаметре происходит жесткое фрикционное сцепление между роликами и заготовкой в процессе накатки. Приблизительно катающие диаметры резьбы на роликах и заготовке можно принять равными среднему диаметру резьбы. При соблюдении указанного условия практически отсутствует осевое перемещение заготовки в процессе накатки, благодаря чему получается качественная резьба на определенном участке изделия, в том числе на изделиях с буртами.

В настоящее время на ряде заводов имеются мощные резьбонакатные станки роликового типа, работающие по схеме поперечной прокатки (табл. 40).

Таблица 40

Техническая характеристика резьбонакатных станков роликового типа

Параметры станков	Станок РН-24	Станок типа ЦКБА
Диапазон наружных диаметров накатываемых резьб, мм	6—100	10—120
Наибольший шаг накатываемой резьбы, мм	6	6
Наибольшая ширина накатных роликов, мм	115	150
Диаметр накатных роликов, мм	135—200	120—160
Скорость вращения шпинделей, об/мин	16—205	12—50
Наибольшее усилие при накатке, т	24	23,4
Мощность электродвигателя, кВт	9	15(7,5)
абариты, м	1,95×1,35×1,5	1,8×1,4×1,1

На станках можно накатывать различные резьбы с крупным шагом и другие профили. Однако на резьбонакатных станках этого типа длина накатываемой резьбы ограничена шириной резьбонакатных роликов, которая в свою очередь определяется максимальным усилием подачи, жесткостью и мощностью станка. Это обстоятельство существенно ограничивает возможности резьбонакатных станков данного типа, так как оказывается невозможным изготовлять обширную номенклатуру деталей с крупной резьбой, длина которой превышает ширину роликов.

При накатке длинной резьбы необходимо в процессе накатки обеспечить осевую подачу заготовки. Метод накатки длинной резьбы роликами с параллельными осями, применяемый иногда на практике (при этом осевая подача заготовки обеспечивается нарушением кратности заходов резьбы на роликах и заготовке) является неудовлетворительным. Такой метод можно применять лишь при накатке сравнительно мелкой резьбы, так как он приводит к снижению точности резьбы, одностороннему давлению

металла на резьбовые нитки ролика, к снижению стойкости резьбонакатных роликов и уменьшению производительности.

На существующих резьбонакатных станках роликового типа накатывать резьбу методом поперечно-винтовой прокатки не представляется возможным, так как конструкция станков не допускает перекося осей роликов и свободного выхода заготовки в осевом направлении.

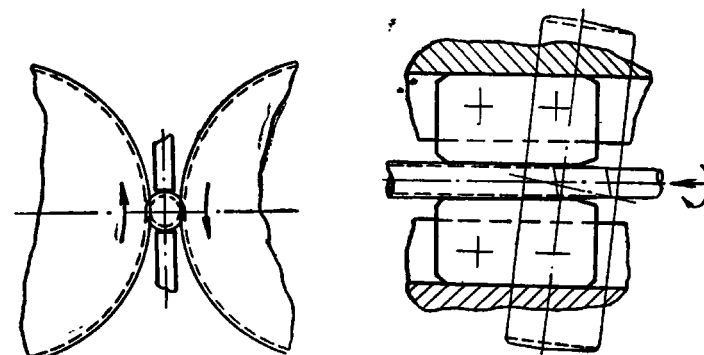


Рис. 190. Схема поперечно-винтовой накатки крупной резьбы (ВНИИМЕТМАШ)

Во ВНИИМЕТМАШ под руководством М. В. Васильчикова разработаны конструкция инструмента и оборудование, а также освоено технологический процесс поперечно-винтовой накатки трапецидальных и других специальных резьб с крупным шагом.

Схема накатки приведена на рис. 190.

Оси накатных роликов наклонены по отношению к оси накатываемой детали. Межцентровое расстояние накатных роликов в процессе прокатки сохраняется постоянным. Заготовка задается в осевом направлении, захватывается вращающимися роликами и получает вращательно-поступательное перемещение со скоростью осевой подачи

$$u = v \sin \alpha,$$

где u — осевая скорость заготовки;

v — окружная скорость накатных роликов;

α — угол между осями роликов и заготовки.

Во время накатки заготовка удерживается между накатными роликами при помощи поддерживающих проводок. Для накатки резьбы могут быть использованы два типа инструмента: 1) накатные ролики с кольцевым резьбовым профилем и 2) накатные ролики с винтовым резьбовым профилем. Кольцевые резьбона-

м Э. Р. Шор

катные ролики имеют по наружной поверхности кольцевые выступы, соответствующие профилю впадины, и шаг витков, соответствующий шагу накатываемой резьбы.

Для получения резьбы оси роликов должны быть наклонены на угол, равный углу подъема накатываемой резьбы по среднему диаметру.

Профиль резьбы винтовых резьбонакатных роликов также соответствует профилю впадины, а шаг резьбы должен быть равен или являться кратным шагу накатываемой резьбы.

При накатке длинных резьб роликами с винтовым профилем угол подъема резьбы на роликах должен отличаться от угла подъема накатываемой резьбы на заготовке. Для получения качественной резьбы необходимо при настройке обеспечить точное совпадение углов подъема резьбы на накатываемой заготовке и на накатном ролике, что достигается дополнительным разворотом осей роликов. При развороте осей появляется составляющая окружной скорости роликов, обеспечивающая непрерывную осевую подачу заготовки в процессе накатки.

В остальном метод накатки винтовыми роликами не отличается от накатки резьбы кольцевыми роликами. Угол перекося осей зависит от углов подъема и направления накатываемой резьбы и резьбы на роликах.

Особенность кольцевых резьбонакатных роликов заключается в том, что одним комплектом можно накатывать резьбу различных диаметров. При проектировании винтовых резьбонакатных роликов необходимо учитывать, что одним комплектом роликов также можно накатывать резьбу различных диаметров, за исключением тех размеров резьбы, для которых соблюдается равенство углов подъема на ролике и заготовке.

Диаметр роликов обычно выбирается из конструктивных соображений и не оказывает существенного влияния на процесс накатки. С точки зрения уменьшения действующих усилий и скоростей скольжения при накатке желательно выбирать диаметр роликов возможно меньшим. Ролики имеют заборный конус и калибрующий участок.

На ход процесса накатки длинной резьбы влияют ширина роликов и калибровка заборного конуса. Заборный конус необходим для равномерного распределения работы деформации металла, производимой отдельными витками выступов, и для обеспечения условий захвата.

По аналогии с кривой прокаткой принимают, что для обеспечения надежного захвата заготовки в осевом направлении необходимо, чтобы угол наклона образующей заборного конуса φ не был больше угла трения μ .

При коэффициенте трения в пределах 0,05—0,08 (холодная

накатка со смазкой) угол наклона образующей заборного конуса должен быть порядка 3—5°.

После захвата заготовки одним или несколькими витками резьбонакатных роликов устойчивость дальнейшего течения процесса поперечно-винтовой накатки определяется величинами обжатий, производимых каждым витком профиля. Если величины обжатий превосходят некоторую величину, заготовка начнет буксовать в валках и процесс накатки прекратится.

Для расчетов, связанных с предельными обжатиями при накатке резьбы в первом приближении можно воспользоваться нижеследующими соотношениями.

Осевая подача за половину оборота заготовки

$$s = \frac{t}{2} \left(k - m \frac{d_k}{D_k} \right), \quad (113)$$

где t — шаг резьбы.

Радиальное обжатие за $1/2$ оборота заготовки $z = S \operatorname{tg} \varphi$, где φ — угол конуса роликов, град.

Считая условия деформации металла приближенно одинаковыми на различных участках по ширине роликов, предельный угол заборного конуса φ из условий устойчивого процесса накатки без буксования равен

$$\operatorname{tg} \varphi \leq \frac{2d_k \mu^2 \varphi}{t \left(k - m \frac{d_k}{D_k} \right) \left(1 + \frac{d_k}{D_k} \right)}. \quad (114)$$

Таким образом, имеется два предельных расчетных значения угла φ , из которых необходимо выбрать наименьшее.

Калибрующий участок необходим для устранения овальности заготовки и повышения точности накатываемой резьбы. Ширина калибрующей части должна быть достаточной для того, чтобы обеспечить не менее 3—4 оборотов заготовки при калибровании профиля резьбы. Чрезмерное увеличение ширины роликов нежелательно из-за увеличения давления при накатке и опасности появления дефектов на наружной поверхности резьбы.

Вследствие кривой установки шаг и профиль осевого сечения резьбонакатных роликов должны соответствовать шагу и профилю впадины накатываемой резьбы в нормальном сечении.

Наличие перекося осей роликов при необходимости получения строго цилиндрических участков на изделии обуславливает также для накатных роликов форму однополостных гиперболоидов вращения и необходимость дополнительной корректировки профиля роликов.

Форма однополостного гиперболоида вращения может быть получена при обработке изделия на обычном токарном стане с перекося осей ролика в вертикальной плоскости. Однако при

обычных требованиях к точности и сравнительно небольших величинах углов перекося обработку роликов ведут без перекося и лишь в отдельных случаях производят корректировку шага и профиля резьбонакатных роликов по следующим приближенным формулам:

шаг резьбы на роликах

$$t_p = t \cos \alpha;$$

угол профиля резьбы на роликах

$$\operatorname{tg} \varepsilon_p = \operatorname{tg} \varepsilon \cos \alpha;$$

ширина резьбы по среднему диаметру роликов

$$b_p = b_1 \cos \alpha,$$

где t — шаг резьбы в осевой плоскости накатываемого изделия;

b_1 — ширина впадины по среднему диаметру накатываемой детали в осевой плоскости;

α — угол разворота осей роликов;

ε — угол профиля резьбы в осевом сечении.

Необходимость данной корректировки определяется требуемой точностью накатываемой резьбы.

Учитывая сравнительно малую величину углов подъема резьбовых профилей (например, для нормальной трапецидальной резьбы диаметром от 18 до 100 мм угол подъема резьбы по среднему диаметру меняется от $4^\circ 20'$ до $2^\circ 20'$) величину искажений в шаге и профиле винтовых, а также кольцевых резьбонакатных роликов обычно не учитывают, так как они ничтожно малы и в большинстве случаев значительно перекрываются величинами допусков на элементы профиля резьбы.

Для стабилизации точности размеров накатываемой резьбы обычно при настройке калибрующие участки профиля роликов размещают вблизи средней плоскости общей нормали перекошенных осей.

Конструкция кольцевых и винтовых роликов приведена на рис. 190. Ролики изготавливают комплектом по 2 штуки. Вначале производится нарезка кольцевых выступов или многозаходной резьбы по всей ширине роликов, а затем производится проточка заборного конуса. Заходы резьбы, имеющие неполную ширину, должны быть удалены фрезерованием или затылованием. Острые углы профиля и особенно срезанные по высоте витки профиля на заборном конусе закругляются по максимально допустимому радиусу и полируются.

Ролики должны обязательно иметь шлифованный профиль. Чем выше класс чистоты и точность профиля ролика, тем качественнее поверхность накатанной резьбы и выше стойкость роликов. Материал роликов: сталь марок Х12М, ХВГ или ШХ15.

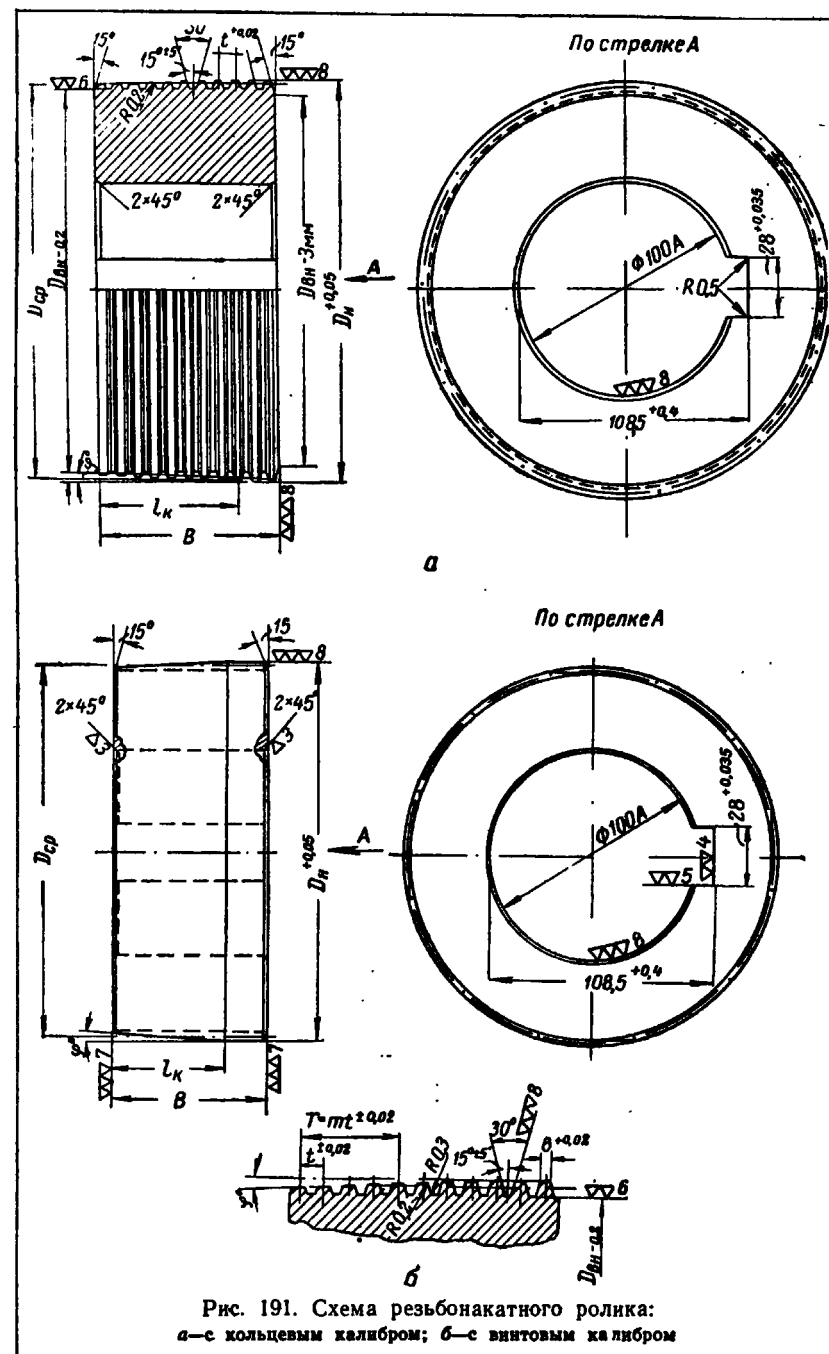


Рис. 191. Схема резьбонакатного ролика:
а — с кольцевым калибром; б — с винтовым калибром

Твердость рабочей поверхности после термической обработки 58—62 R_c .

Сравнивая рассмотренные методы накатывания кольцевыми и винтовыми роликами, следует отметить несколько меньшую универсальность метода накатывания резьбы винтовыми роликами по сравнению с методом накатывания резьбы кольцевыми роликами (невозможность накатывания резьбы разных размеров, у которых $\frac{D_k}{d_k} = \frac{m}{k}$).

Однако в ряде случаев применение накатки винтовыми роликами имеет несомненные преимущества. Например, при накатывании многозаходной резьбы с большими углами подъема необходимо учитывать конструктивные возможности станков в отношении допустимых углов разворота осей роликов. Кроме того, при накатывании многозаходной резьбы и сокращении постоянной интенсивности обжатия и точности калибровки резьбы по профилю необходимо соответственно увеличивать ширину кольцевых резьбонакатных роликов, что, вообще говоря, весьма нежелательно, т. е. связано с увеличением давления, мощности и необходимостью увеличения жесткости стана.

В случае применения винтовых роликов накатывание многозаходной резьбы можно производить при меньших углах разворота, что также обеспечивает большую точность накатанных профилей. Следует также отметить, что при условии одинаковой интенсивности обжатия ширина винтовых резьбонакатных роликов может быть значительно уменьшена по сравнению с кольцевыми роликами. При этом значительно уменьшаются давление металла на ролики, мощность привода, упрощается конструкция станка, что имеет существенное значение при накатке крупной резьбы и червяков. Однако при уменьшении ширины роликов в большинстве случаев затрудняются условия захвата заготовки. Поэтому уменьшить ширину винтовых резьбонакатных роликов можно при наличии принудительной задачи заготовки при помощи пневмо- или гидроцилиндра.

Во ВНИИМЕТМАШ разработана конструкция стана для поперечно-винтовой накатки крупной резьбы, имеющего следующую характеристику.

Диапазон наружных диаметров накатываемой резьбы, мм	16—100
Наибольший шаг накатываемой резьбы, мм	8
Наибольшая длина	1200
Диаметр накатных роликов, мм	160—230
Наибольшая ширина накатных роликов, мм	100
Наибольший угол наклона накатных роликов, град.	7
Скорость вращения накатных роликов, об/мин.	От 8 до 30
Мощность электродвигателя, кВт	20/18/14
Наибольшее давление при накатывании, т	25

Кинематическая схема стана приведена на рис. 192. Привод роликов осуществляется от трехскоростного асинхронного двигателя типа А-82/8/6/4 через комбинированный редуктор и универсальные шпиндели. Двигатель с редуктором соединены клиноременной передачей.

Регулирование скорости роликов ступенчатое и производится как за счет изменения скорости двигателя, так и за счет изменения передаточного числа между двигателем и редуктором (путем перестановки сменных шкивов клиноременной передачи). Подача заготовок к накатным роликам и сбрасывание накатанных винтов осуществляются механизмами загрузки и выгрузки.

Конструкция рабочей клетки показана на рис. 193. Рабочая клетка состоит из станины 1, механизмов установки накатных роликов 2, накатных роликов с подушками 3, крышки 4, верхней и нижней поддерживающих проводок 5, плиты 6 с болтами 7.

Рабочая клетка имеет жесткую станину П-образного сечения, стянутую двумя стяжными болтами. Станина имеет две цилиндрических расточки диаметром 700 мм, на которые помещаются кассеты с механизмами для установки роликов. В проемах кассет смонтированы подушки с подшипниковыми опорами накатных роликов. Сближение роликов в радиальном направлении производится двумя нажимными винтами, имеющими ручной привод от штурвала посредством двух цилиндрических шестерен. Гайки нажимных винтов установлены в кронштейнах, связанных с кассетами. Подушки постоянно прижимаются к нажимным винтам поворотом кассет относительно оси базовой расточки при помощи специальных стяжных болтов. Кроме того, для повышения жесткости системы кассеты притягиваются к станине стяжными болтами.

Осевая настройка роликов осуществляется перемещением подушек накатных роликов относительно кассет соответствующими скобами и винтами. Отсчет перемещений подушек относительно кассет производится по индикатору. Для регулирования параллельности осей накатных роликов друг к другу выводят из зацепления одну из шестерен привода нажимных винтов и перемещают подушки на необходимую величину при помощи одного нажимного винта; затем шестерню устанавливают на место и закрепляют. Нижняя поддерживающая проводка жестко крепится специальным болтом с клином и планкой зажима в кронштейне, установленном на приливе станины. Вертикальная регулировка проводки осуществляется прокладками. Верхняя поддерживающая проводка крепится двумя откидными болтами к оправке, положение которой в вертикальной плоскости регулируется вручную при помощи винтового механизма, встроенного в траверсу станины. Застопоривание верхней проводки производится

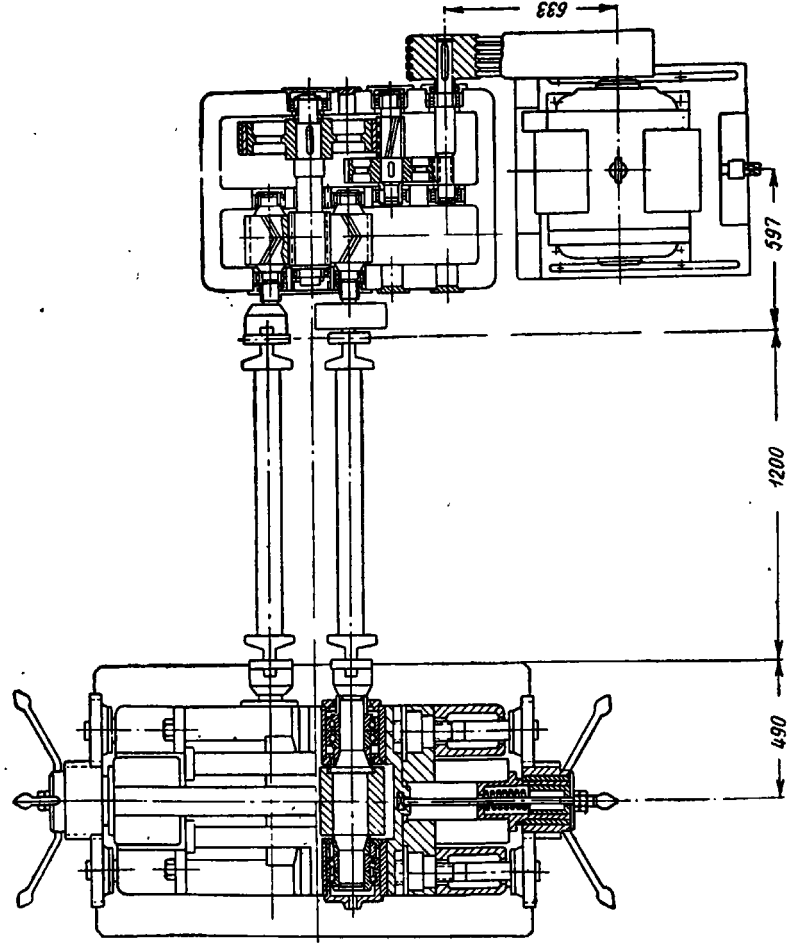


Рис. 192. Кинематическая
схема резьбонакатного
стана конструкции
ВНИИМЕТМАШ

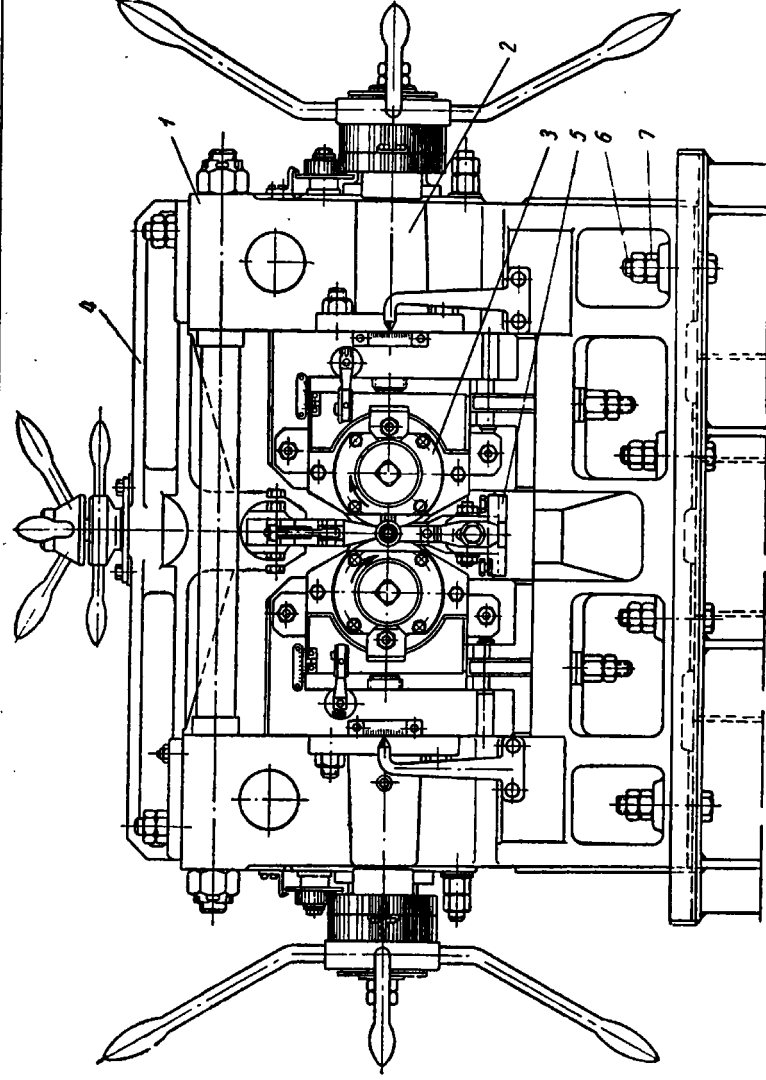


Рис. 193. Рабочая клеть резьбонакатного стана конструкции ВНИИМЕТМАШ

гайкой, установленной под штурвалом механизма вертикальной регулировки проводки. Верхняя и нижняя поддерживающие проводки могут быть заменены без нарушения настройки роликов.

Валы накатных роликов установлены на подшипниках качения. Смазка подшипников густая от шприца через масленку. Смена накатных роликов может производиться двумя способами: 1) комплектно, т. е. во время работы одной пары роликов вторая пара полностью комплектуется со своими подушками. При смене старые подушки вместе с роликами извлекаются и на их место ставятся новые; 2) сменяются только ролики, а подушки остаются старые. В этом случае отвертывают два болта, крепящие подушку со стороны выхода металла, и снимают только один стакан в сборе с подшипниками, не нарушая их настройку. Затем снимается с оси накатной ролик, а задняя подушка с подшипниками остается на месте. Все операции по сборке ведут в обратной последовательности.

Передача вращения накатным роликам осуществляется универсальными шпинделями. Одна из головок универсальных шпинделей имеет со стороны редуктора фрикционное соединение, необходимое для регулирования взаимного совпадения профиля винтовых накатных роликов. Передача вращения от двигателя к универсальным шпинделям осуществляется через клиноременную передачу и комбинированный трехступенчатый редуктор с общим передаточным отношением $i = 47,2$.

На входном валу редуктора находится шкив клиноременной передачи, соединяющей редуктор с двигателем. На два выходных конца вала насажены головки универсальных шпинделей. Редуктор имеет сварную станину. Все валы редуктора установлены на подшипниках качения, смазка зацепления и подшипников жидкая.

Получение качественной резьбы во многом определяется точностью настройки роликов и соблюдением оптимальных режимов накатывания.

Ролики один по отношению к другому в осевом направлении должны быть установлены так, чтобы вершины профиля одного ролика точно совпадали с центрами впадин.

При накатывании многозаходной резьбы осевая настройка ролика заключается в следующем.

1. При накатке резьбы с четным числом заходов вершины выступов профиля одного ролика должны совпадать с вершинами выступов другого ролика.

2. При накатке резьбы с нечетным числом заходов вершины выступов профиля одного ролика должны находиться против впадин другого ролика.

Оси роликов должны лежать в параллельных плоскостях и быть наклонены по отношению к оси заготовки на угол α . Осевую

и угловую настройку обычно проверяют методом «закусывания». После предварительной настройки ролики разводятся и между ними помещают заготовку, затем ролики сближают и зажимают заготовку. Вручную проворачивают ролики на 1,5 оборота заготовки, затем вынимают заготовку и по совпадению отпечатков на заготовке корректируют угловую и осевую настройку роликов.

После проведения осевой и угловой настройки проводится настройка расстояния между осями роликов в точках их поворота. Это расстояние должно быть равно сумме средних диаметров ролика и накатываемого изделия и величины упругой деформации стана под нагрузкой.

Настройка поддерживающих проводок заключается в следующем: нижняя проводка устанавливается таким образом, чтобы ее плоскость была ниже уровня центров роликов на половину диаметра готового изделия. Верхняя устанавливается параллельно нижней; расстояние между ними равно диаметру готового изделия с допуском 0,3—0,5 мм.

Скорость накатки является одним из основных технологических параметров процесса, определяющих качество и точность накатываемых изделий, стойкость роликов и производительность станка.

На допустимую скорость накатки влияют профиль и величина шага резьбы, а также механические свойства материала накатываемого изделия.

Повышение скорости накатки снижает стойкость проводок и накатных роликов, вызывает сильный разогрев заготовки и налипание металла на инструмент.

Под скоростью накатки имеется ввиду окружная скорость накатных роликов по среднему диаметру.

Оптимальные скорости холодной накатки крупных трапецеидальных резьб на деталях из углеродистой стали находятся в пределах $10 \div 15$ м/мин.

Накатывание производится при обильном поступлении в зону деформации сульфохлоридной смазки. Сульфохлорид обладает хорошей охлаждающей и смазывающей способностью, обеспечивающей высокое качество резьбы и снижение усилий и мощности привода для накатывания. Накатывание крупной резьбы производят в холодном и горячем состояниях. Холодное накатывание имеет большие преимущества по сравнению с обработкой в горячем состоянии, так как при этом упрощается технология, снижается общий расход энергии и повышается чистота поверхности, а заготовка приобретает более высокие механические свойства и поверхностную твердость. Однако технологические возможности холодного накатывания ограничены по сравнению с горячим накатыванием.

Максимально допустимая деформация при холодной накатке

определяется пластическими свойствами материала заготовки. В случае превышения допустимой деформации наступает разрушение поверхностных слоев (отслаивание и шелушение металла).

На основании опыта ВНИИМЕТМАШ в настоящее время методом холодной накатки можно получить качественную трапецеидальную резьбу с шагом до 8 мм на деталях из углеродистых конструкционных сталей. При увеличении шага свыше 8 мм качество резьбы ухудшается, появляются дефекты на наружной поверхности. Кроме того, в связи с сильным упрочнением металла резко возрастает величина давления металла на ролики. Поэтому накатывание крупной резьбы с шагом выше 8 мм, червяков, а также винтов из малопластичных сталей следует производить в горячем состоянии. При этом вследствие высокой пластичности облегчается течение металла и выполнение профиля резьбы. Давление металла на ролики и мощность привода при горячей накатке значительно меньше, чем при холодной накатке. Это дает возможность иметь для горячей накатки более компактный и менее мощный стан.

На основании опыта горячей накатки шестерен можно полагать, что горячее накатывание при наличии скоростного и стабильного электронагрева может обеспечить изготовление крупной резьбы и червяков III класса точности.

Следует отметить, что при накатывании крупной резьбы поперечной и поперечно-винтовой прокаткой имеется опасность появления рыхлости и вскрытия полости в осевой зоне заготовки. При накатке мелкой резьбы в связи с поверхностным характером деформации указанных дефектов не наблюдается.

В результате многочисленных экспериментов, проведенных во ВНИИМЕТМАШ, установлено, что при холодном накатывании крупной резьбы (трапецеидальной резьбы с шагом до 10 мм, полукруглой резьбы с шагом 6 мм) отсутствуют дефекты в осевой зоне заготовки.

При горячем накатывании с различными режимами тех же размеров резьбы и трапецеидальных червяков с модулем до 5 мм вскрытие полости было обнаружено только на винтах домкратов с полукруглой резьбой (рис. 194), накатанных при неправильном режиме (чрезмерном обжатии).

Таким образом, при правильных режимах холодного и горячего накатывания крупной резьбы напряжения в осевой зоне заготовки небольшие и они не могут вызвать появление внутренних дефектов.

Накатанная резьба имеет высокую частоту поверхности и точность (рис. 195, аб). Чистота поверхности резьбы, накатанной в холодном состоянии, не ниже чистоты поверхности накатных роликов и может быть доведена до $\nabla\nabla\nabla_7$ — $\nabla\nabla\nabla_8$.

Процесс накатки при правильных режимах и неизменных ус-

ловиях настройки отличается весьма высокой стабильностью размеров по шагу и элементам профиля и обеспечивает получение резьбы до II класса точности.

Отличительной особенностью накатанной резьбы является сильно уплотненная и ориентированная по профилю волокнистая структура металла, в результате чего значительно повышаются твердость рабочей поверхности и прочность накатанной резьбы. Так, например, твердость рабочей поверхности винтов с резьбой ТРАП36×6 из стали 35, накатанной в холодном состоянии, по-

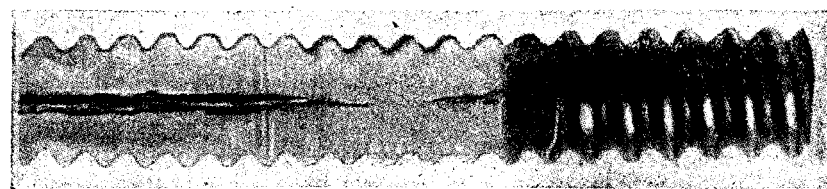


Рис. 194. Вскрытие полости при неправильном режиме горячей накатки

вышается на 42—46%; прочность тех же винтов при статических нагрузках увеличивается на 25—30% по сравнению с нарезанными винтами.

Таким образом, винты с накатанной резьбой имеют более высокую грузоподъемность и износостойкость, чем нарезанные на станке.

Накатка резьбы сопровождается значительной экономией металла, уходящего в стружку при станочной обработке. Она составляет для различных размеров резьбы от 16 до 25%.

Накатывание резьбы по методу ВНИИМЕТМАШ является непрерывным процессом, при установившемся режиме которого вспомогательное время может быть сведено к нулю. В этом случае продолжительность накатки будет определяться, главным образом, машинным временем:

$$t_m = \frac{L + B}{u_s}, \quad (115)$$

где t_m — машинное время, сек.;
 L — длина накатываемой резьбы на заготовке, мм;
 u_s — осевая скорость заготовки, мм/сек;
 B — ширина накатного ролика, мм.

Часовая производительность при непрерывной работе

$$Q = \frac{3600}{t_m} \text{ шт/час.}$$

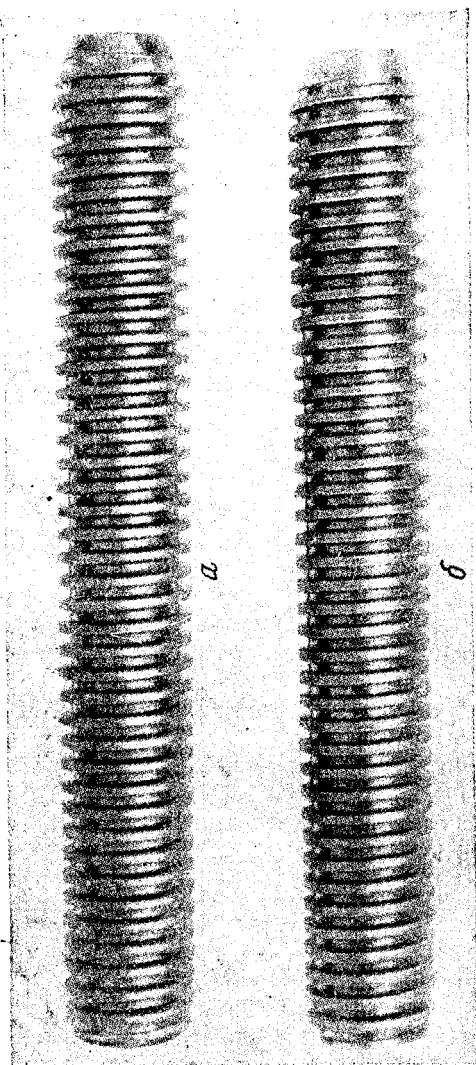


Рис. 195. Образцы винтов с трансцендентальной резьбой 36 × 6, накатанных:
а — в горячем; б — в холодном состоянии

При накатывании роликами с винтовой нарезкой осевая скорость заготовки может быть выражена в виде

$$u_z = v \sin \alpha = \frac{\pi D_k n}{60} [\sin(\beta_s - \beta_p)]. \quad (116)$$

Ввиду малой величины углов подъема резьбы без заметной погрешности можно принять что

$$\sin(\beta_s - \beta_p) = \operatorname{tg} \beta_s - \operatorname{tg} \beta_p,$$

$$\operatorname{tg} \beta_s = \frac{kt}{\pi d_k}; \quad \operatorname{tg} \beta_p = \frac{mt}{\pi D_k},$$

где t — шаг резьбы;

n — число оборотов роликов в минуту.

Окончательно получим

$$u_z = \frac{nt}{60} \left(k \frac{D_k}{d_k} - m \right). \quad (116a)$$

Скорость осевой подачи заготовки при накатке роликами с кольцевой нарезкой можно определить по следующей формуле:

$$u_k = \frac{nt}{60} \cdot \frac{D_k}{d_k} k. \quad (117)$$

При холодном накатывании однозаходной резьбы ТРАП36×6 роликами с кольцевой нарезкой со скоростью накатывания 15 м/мин скорость вращения роликов $n = 24$ об/мин (скорость осевой подачи заготовки, подсчитанная по вышеприведенной формуле составит 14,4 мм/сек или 0,865 м/мин).

Сравнительные расчеты показывают, что производительность непрерывного накатывания по методу ВНИИМЕТМАШ в 10—30 раз выше скоростной токарной обработки и вихревого резьбофрезерования.

Накатку резьбы можно с большим эффектом применять для винтов различных грузоподъемных машин (винтовых домкратов, сцепных приборов, тисков и др. механизмов) и для арматурных винтов.

В качестве примера типовой детали с накатанной резьбой на рис. 195 приведен винт домкрата легкового автомобиля «Москвич». Накатка винта производится за 25 сек. Экономия металла составляет более 20%.

Большие перспективы имеет также использование накатки для предварительной обработки ходовых винтов, червяков и других подобных деталей.

5. ПРОКАТКА РЕБРИСТЫХ ТРУБ

Ребристые трубы предназначены для теплообменных аппаратов, применяемых в различных отраслях энергетического машиностроения и теплотехники, а также в химическом и нефтяном машиностроении, в холодильной технике, судостроении и т. п.

В настоящее время многие заводы изготавливают ребристые трубы и другие ребристые элементы из цветных металлов, углеродистой, легированной и нержавеющей сталей. Широко распространены трубы с ребристой поверхностью, образованной навитой по спирали лентой или проволокой, трубы с насаженными на них ребрами в виде плоских шайб, имеющих бурты для лучшего контакта с трубой. Надежный контакт ребер с трубой обычно достигается пайкой, сваркой, раздачей отверстия трубы и т. д. Применяются также пластинчато-трубчатые и другие конструкции теплообменников.

Существующая технология изготовления ребристых элементов обычно весьма трудоемка и неэкономична, в то же время их качество, как правило, не удовлетворяет требованиям, предъявляемым конструкторами.

Наиболее рациональной конструкцией с точки зрения теплотехнических и эксплуатационных показателей являются прокатанные трубы, наружная поверхность которых имеет форму спиральных ребер, образованных из металла самой трубы. Ребристые трубы данного типа обладают наивысшей теплообменной способностью за счет сплошности и однородности металла и малого аэродинамического сопротивления; кроме того, такие трубы отличаются высокой механической прочностью и высокой рабочей температурой, определяемой допустимой температурой металла трубы, а не припоя.

Процесс прокатки ребристых труб¹ заключается в следующем (рис. 196). Цилиндрическая труба-заготовка захватывается тремя специально профилированными валками и в процессе прокатки получает вращательно-осевое перемещение с обжатием на свободной или на закрепленной оправке. В первом случае оправка извлекается после прокатки из готовой спрофилированной трубы. Во втором случае прокатываемая труба снимается с оправки во время прокатки. Таким образом, устраняется операция извлечения оправки из прокатываемой ребристой трубы и рабочая часть оправки имеет короткую длину.

Валки имеют возможность перемещаться в плоскости, перпендикулярной оси прокатки, для установки на заданный размер изделия и для регулирования величины обжатия, а также в на-

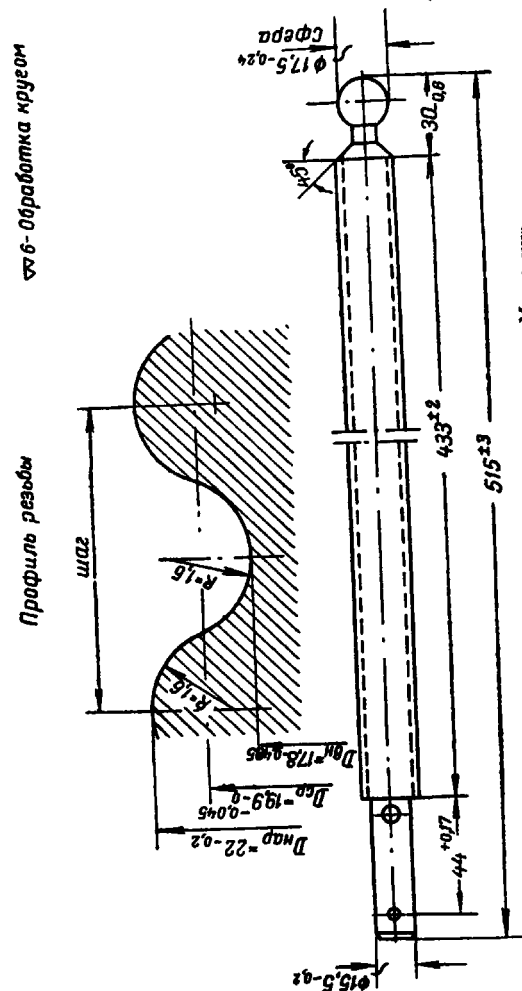


Рис. 196. Винт домкратов автомобиля «Москвич»

¹ Технология прокатки разработана во ВНИИМЕТМАШ инж. Ф. П. Кирпичниковым.

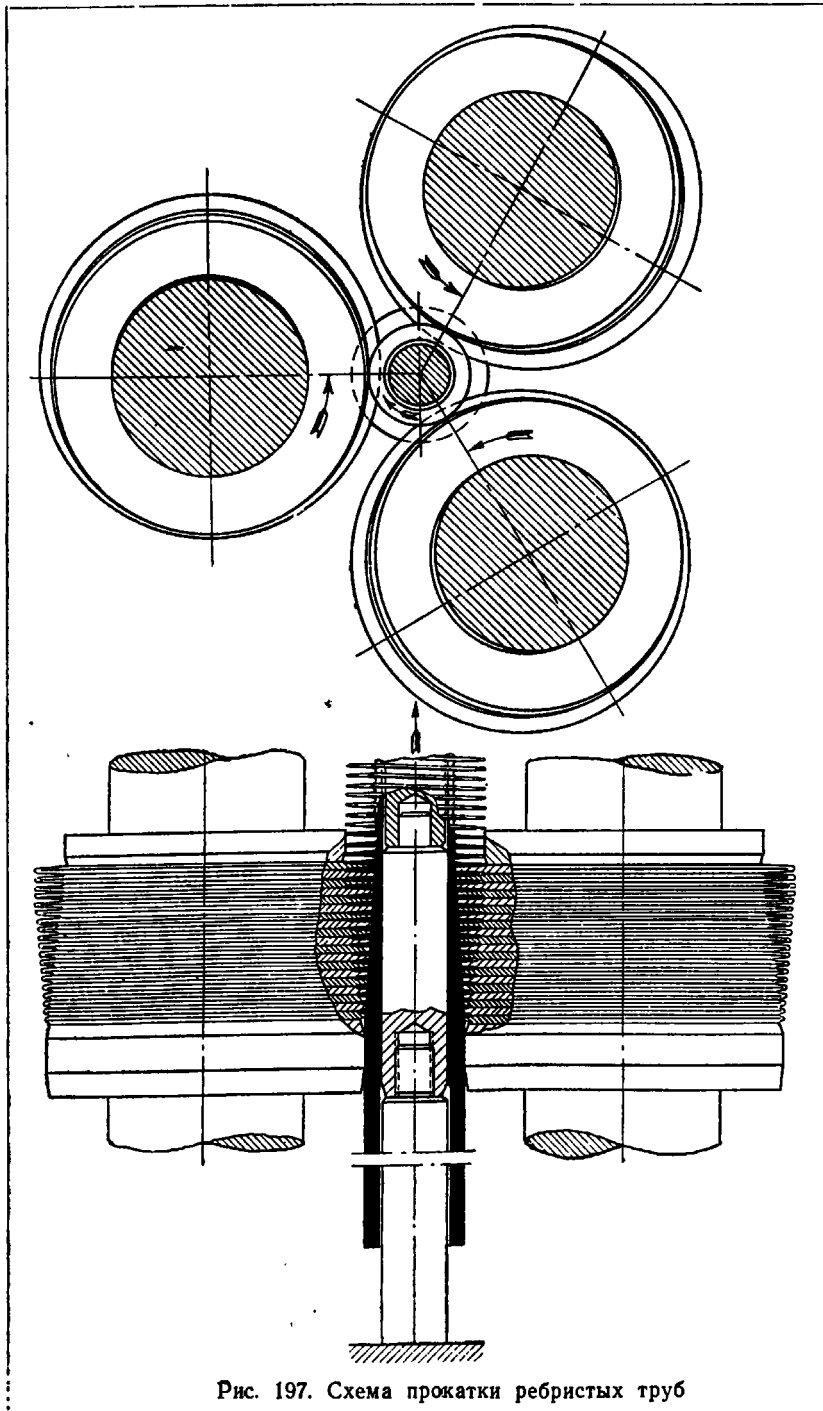


Рис. 197. Схема прокатки ребристых труб

правлении параллельном оси прокатки для регулирования взаимного совпадения калибров, образуемых валками; кроме того, их можно поворачивать для регулирования перекоса. Все валки вращаются принудительно в одну сторону. Они имеют кольцевой профиль переменного сечения, калибровка которого обеспечивает постепенное формообразование заданного профиля.

В процессе прокатки удается достигнуть значительного утонения ребер и увеличения наружного диаметра ребристой трубы.

Благодаря перекосу валков на угол, соответствующий винтовой поверхности ребер, заготовка получает вращательно-осевое движение, что позволяет прокатывать практически трубы любой длины.

В зависимости от пластических свойств материала заготовки прокатка ребристых труб может производиться в холодном или в горячем состоянии.

Диаметр исходной заготовки выбирается из условия постоянства объема заготовки и готового профиля с учетом осевой вытяжки металла при прокатке.

Трехвалковая схема прокатки обеспечивает самоцентрирование заготовки во время прокатки без дополнительных проводков, что является ее преимуществом, так как применение проводков при наличии ребер тонкого сечения весьма нежелательно.

По сравнению с существующей технологией прокатка ребристых труб отличается сравнительно более высокой производительностью, непрерывностью обработки, простой конструкцией сменного инструмента и оборудования и возможностью формирования на одной установке труб с различными диаметрами, различной степенью оребрения и из разных металлов.

Прокатка ребристых труб осуществляется на трехвалковом стане поперечно-винтовой прокатки (рис. 198). Рабочая клеть состоит из нажимного и уравнивающего механизмов, механизмов установки валков и подушек с подшипниковыми опорами осей валков.

Станина открытого типа состоит из двух половин, скрепленных болтами и общей плитой. Нажимной и уравнивающий механизмы служат для радиального перемещения валков на заданное межцентровое расстояние; одновременно с этим нажимной механизм воспринимает и передает станине давление прокатки. Каждый валок имеет свой нажимной механизм, состоящий из двух нажимных витков и двух червячных редукторов, приводимых вручную от штурвала. Отсчет перемещений производится по лимбу с точностью до 0,05 мм. Разъединяя соединительную муфту, можно настраивать и перемещать валки

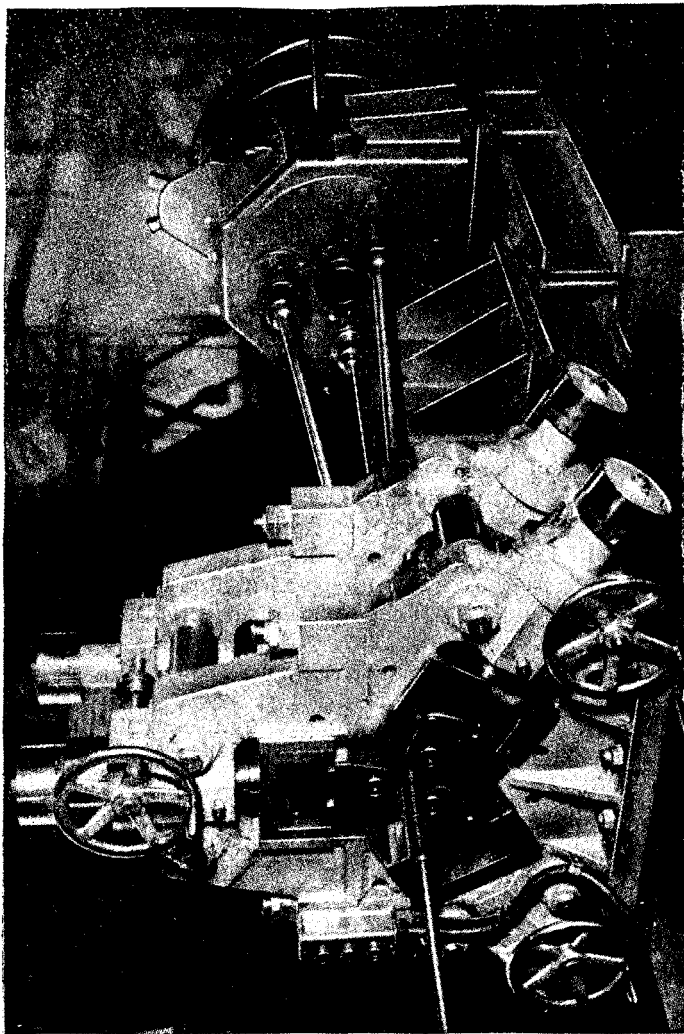


Рис. 198. Трехвалковый стан для прокатки ребристых труб

каждым винтом в отдельности. Уравновешивающий механизм при помощи пружины обеспечивает постоянное прижатие подушек валков с сопряженными деталями к нажимным винтам. Оси валков смонтированы на игольчатых подшипниках и для удобства смены валков имеют одну отъемную опору. Подушки с подшипниковыми опорами могут перемещаться для настройки в осевом направлении по направляющим при помощи винтового механизма. Угловая настройка (перекос осей валков) осуществляется поворотом подушек вместе с направляющими относительно кассет вокруг оси центрирующей втулки. Поворот осуществляется при помощи специального винтового механизма. Передача вращения валкам производится универсальными шпинделями.

Ребристые трубы имеют специфичный профиль с тонкими и высокими ребрами, поэтому валки для прокатки этих труб из технологических соображений состоят из отдельных дисков переменного профиля. Как показывает опыт, подобная конструкция валков представляет большие удобства в эксплуатации. Так, при поломке и выходе из строя одного или нескольких дисков можно их заменить и сохранить остающиеся диски.

Обычно при трехвалковой схеме прокатки максимальный диаметр дисков определяется минимальным наружным диаметром ребристой трубы (минимальным диаметром вписанного круга в межвалковое пространство).

Указанное условие выражается соотношением

$$D \leq 6,43d - 7,41\Delta,$$

где D — максимальный диаметр валков;

d — минимальный диаметр несущей трубки;

Δ — минимальный зазор между валками.

На валках можно выделить три участка: участок предварительного обжатия, формующий участок и калибрующий участок. На участке предварительного обжатия производится калибровка исходной заготовки по диаметру, обеспечиваются захват и определенная осевая подача (за оборот) заготовки. Деформация заготовки производится широким диском, имеющим заборный конус, цилиндрический участок и обратный конус. Угол заборного конуса для надежного захвата заготовки принимается в пределах $3-5^\circ$. Обжатие заготовки на этом участке невелико и оно составляет не более $0,5$ мм по диаметру.

Формующий участок образуется набором узких дисков переменного профиля, имеющих трапециевидное сечение. Ширина и угол профиля дисков закономерно изменяются. На формующем участке происходит формообразование ребристой поверхности (путем внедрения дисков в заготовку). При этом происхо-

дит утонение и подъем ребер до заданной высоты. В процессе деформации заготовки (обжатия по диаметру и утонению ребер) возможно течение смещаемого металла в осевом и в радиально-тангенциальном направлениях.

С точки зрения создания наиболее развитой наружной поверхности ребристых труб калибровка валков должна обеспечить условия, затрудняющие осевое течение металла и облегчающие течение металла в радиально-тангенциальном направлении. Этим условиям отвечают следующие мероприятия: а) увеличение количества дисков, участвующих в прокатке, и соответственное уменьшение обжатия, производимого каждым диском. При этом образуется многовитковый калибр, состоящий из набора дисков, затрудняющий осевое течение металла; б) постепенное уменьшение угла профиля формирующих дисков, что вызывает соответственное уменьшение составляющих нормальных усилий, действующих на ребра и облегчающих радиально-тангенциальное течение металла при формообразовании ребер; в) уменьшение начальной ширины формирующих дисков, что уменьшает осевое течение металла при радиальном внедрении дисков; г) повышение чистоты поверхности и точности обработки профиля дисков. Высокая чистота рабочей поверхности дисков способствует уменьшению сил трения, затрудняющих радиально-тангенциальное течение металла при формообразовании ребер. Высокая точность обработки дисков обеспечивает взаимное совпадение калибров, образованных дисками каждого валка, отсутствие подрезания и изгиба ребер при прокатке, что также облегчает радиально-тангенциальное течение металла.

Практически при прокатке ребристых труб не удается избежать осевой вытяжки, которая достигает 20—30%. В соответствии с этим в ряде случаев калибровка дисков формирующего участка выполняется с переменным нарастанием шагов (между дисками устанавливаются мерные прокладки).

Калибрующий участок предназначен для калибровки и стабилизации размеров профиля после прокатки.

Последним широким диском производится калибровка ребристой трубы по наружному диаметру. Калибрующий участок составляется из дисков с постоянным шагом и незначительным постепенным утонением профиля. Этим достигается уменьшение неуравновешенного осевого давления металла на последний диск, которое, вообще говоря, весьма велико. Следует отметить, что в периоды неустановившегося режима прокатки (заходе переднего конца в валки и начале прокатки, и выходе заднего конца заготовки в конце прокатки) остальные диски последовательно нагружаются односторонним неуравновешенным давлением металла в осевом направлении и должны обладать

достаточной прочностью на изгиб. Для уменьшения одностороннего давления металла на диски необходимо на заготовке с обеих сторон снимать конус. Угол конуса 15—20°.

Диски имеют незначительную толщину, поэтому существенное значение имеет выбор материала дисков, обладающих необходимой для холодной прокатки твердостью, высокой износостойкостью и высокой прочностью на изгиб. Диски для холодной прокатки ребристых труб из цветных металлов изготавливаются из стали 5ХНМ и 5ХНВ и имеют твердость после термической обработки 50—54 R_C .

Диски для холодной прокатки стальных ребристых труб изготавливаются из стали ХВГ и Х12М и имеют твердость после термообработки 58—60 R_C . Затем диски шлифуют, рабочую поверхность их полируют для получения чистоты поверхности $\nabla\nabla\nabla 9$.

Большое значение для стойкости дисков в эксплуатации имеет соблюдение надлежащих режимов шлифования. Диски следует шлифовать при обильном охлаждении эмульсией; глубина шлифования не должна превышать 0,01 мм; чем она меньше, тем меньше возможность появления шлифовочных прижогов и трещин, снижающих прочность рабочего гребня дисков.

Оправка обычно имеет цилиндрическую форму, однако в отдельных случаях для получения более ровной внутренней поверхности трубы можно применять расширяющуюся коническую оправку. Диаметр оправки на 0,5—0,8 мм меньше диаметра отверстия. Изготавливается оправка из стали ШХ15, твердость после термической обработки 60—63 R_C .

Формообразование профиля прокатанных ребристых труб возможно при высокой степени деформации металла. Работа пластической деформации почти полностью переходит в тепло. Помимо этого, прокатка ребристых труб сопровождается интенсивным скольжением дисков относительно профильных поверхностей прокатываемой заготовки. Скольжение происходит при высоких удельных давлениях и также сопровождается выделением значительного количества тепла и разогревом валков и сопряженных с ними деталей. В связи с этим должно быть уделено серьезное внимание выбору технологических смазок и охлаждению валков.

Как показывает опыт, правильный выбор смазки и способа ее нанесения имеет решающее значение для успешного ведения процесса. Применение эффективных смазок снижает коэффициент трения, уменьшает выделение тепла, значительно облегчает радиально-тангенциальное течение металла и увеличивает допустимую степень деформации металла при формообразовании, способствует получению более качественной поверхности, снижению рабочих нагрузок и расхода энергии при прокатке.

При прокатке ребристых труб из цветных металлов (медь, алюминий) наилучшие результаты получены при использовании для смазки минеральных масел с коллоидным графитом в качестве наполнителя (содержание графита 20—25%). Подача смазки при прокатке производится при помощи сжатого воздуха специальной форсункой, обеспечивающей хорошее разбрызгивание и равномерное нанесение смазки на валки и заготовку. При холодной прокатке ребристых труб из малоуглеродистой стали заготовки подвергают предварительному фосфатированию с применением в качестве смазки мыльной эмульсии. Разрез ребристой трубы приведен на рис. 199. Для ребристых труб важным расчетным параметром является коэффициент оребрения, определяемый как отношение наружной оребренной поверхности к площади отверстия трубы.

С точки зрения экономии материала и веса наиболее эффективными являются трубы с тонкими ребрами и тонкой стенкой несущей трубы. Поскольку профиль ребристых труб образуется путем пластической деформации трубчатой заготовки, предельные параметры ребристых труб (коэффициент оребрения, толщина элементов профиля) ограничены и определяются пластическими свойствами материала при данных условиях деформации. Так, при чрезмерном утонении стенки несущей трубы образуется утяжка внутреннего диаметра трубы, которую не удастся выправить калибровкой отверстия при помощи оправки и возможно разрушение трубы в процессе прокатки. Утонение ребер практически возможно лишь до некоторой предельной величины, зависящей от пластических свойств, степени наклепа и сопротивления деформации металла заготовки, а также от жесткости крепления набора дисков и жесткости самих дисков.

Предельная деформация при утонении ребер может проявляться в виде радиальных трещин и разрывов ребер.

Путем холодной прокатки можно получать трубы с весьма тонкими и высокими ребрами и большой поверхностью оребрения. Геометрия профилей ребристых труб, прокатка которых освоена во ВНИИМЕТМАШ, приведена в табл. 41 (рис. 200).

Как следует из таблицы, наилучшей деформируемостью при прокатке ребристых труб обладают алюминий и медь.

Для материалов, подвергающихся сильному наклепу, прокатку можно вести в два и более проходов с промежуточными отжигами; при этом геометрия ребристых труб (коэффициент оребрения) может быть значительно улучшена.

Существенное значение на процесс прокатки ребристых труб оказывает выбор скоростных режимов для различных материалов.

При прокатке ребристых труб, указанных в табл. 41, макси-

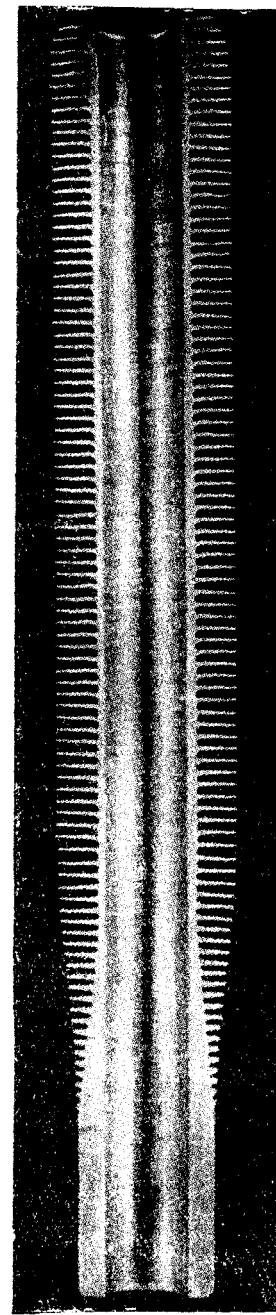


Рис. 199. Разрез ребристой трубы

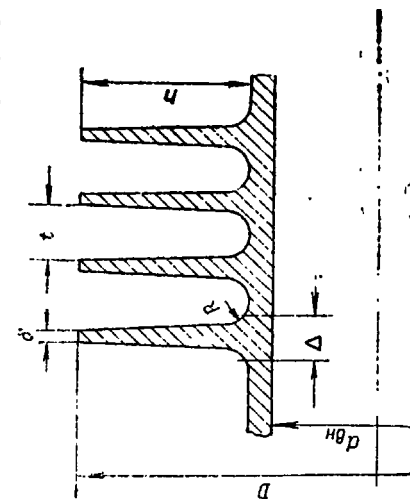


Рис. 199. Элементы ребристой трубы

Таблица 41

Размеры ребристых труб

Материал трубы	Размеры заготовки, мм		Размеры ребристой трубы						Коэффициент сжатия
	диаметр	толщина стенки	D	h	t	Δ	δ	$a_{\text{вн}}$	
Медь МЗ . . .	27	5	38,5	9,5	3,4	0,8	0,3	16,5	11,2
Алюминий . .	27	5	43	11,5	3,4	0,9	0,2	16,5	14
Алюминий . .	31	6	43	11,0	2,7	0,8	0,3	18,5	15
Сталь 10 . . .	27	5	34	7	3,4	1,5	0,7	16,5	7,8
Нержавеющая сталь X18H9T . . .	27	5	31	5,5	3,6	1,8	1,0	16,5	5,8

мальная окружная скорость по наружному диаметру дисков составляет: а) для алюминиевых труб — до 80÷100 м/мин, б) для медных труб до 30—40 м/мин и в) для стальных труб до 10÷20 м/мин.

Увеличение скорости сверх указанной вызывает сильный нагрев заготовки и инструмента.

Давление и требуемая мощность для прокатки ребристых труб сравнительно невелики. Например, при прокатке алюминиевых ребристых труб давление металла на валки составляет 2—3 т, мощность привода — 10 кВт (при скорости прокатки 80 м/мин). Производительность стана при прокатке ребристых труб определяется скоростью осевой подачи заготовки, которая может быть определена также, как при накатывании резьбы роликами с кольцевой нарезкой.

На основании экспериментальных данных отношение катающего диаметра дисков к диаметру сцепления заготовки при прокатке ребристых труб

$$\frac{D_k}{d_k} \approx \frac{3D - 2h}{3d + 2h}.$$

Таким образом, осевая скорость прокатываемой заготовки может быть определена по формуле

$$u = \frac{\pi n t}{60} \cdot \frac{3D - 2h}{3d + 2h}, \quad (118)$$

где n — скорость вращения дисков, об/мин;
 D — наружный диаметр дисков;
 h — высота ребер;
 d — наружный диаметр несущей трубы.

При указанных выше допустимых окружных скоростях валков производительность стана при прокатке ребристых труб составляет:

Для алюминиевых труб, пог. м/мин 2—3
 » медных » » 1—1,5
 » стальных » » 0,5—1,0

По сравнению с существующими способами изготовления ребристых труб при прокатке повышается производительность в 5—15 раз (в некоторых случаях еще выше) и соответственно снижаются затраты труда и себестоимость.

Широкое применение прокатанных ребристых труб, обладающих более высокими теплотехническими и эксплуатационными показателями, позволит повысить экономичность и значительно уменьшить по весу и габаритам конструкции машин и аппаратов. В некоторых случаях окажется возможным заменить более дефицитные цветные металлы менее дефицитными или изготавливать стальные ребристые трубы вместо труб из цветных металлов. В связи с этим особая роль должна принадлежать прокатанным ребристым трубам из алюминия.

Простая технология прокатки ребристых труб и несложное оборудование позволяют сравнительно легко организовать их производство на любом заводе.

ЛИТЕРАТУРА

1. А. И. Целиков, Е. С. Рокотян, А. Е. Гуревич, А. В. Кругликов, Э. Р. Шор. Станы для прокатки равнопрочных профилей переменного сечения. Машгиз, 1949.
2. Э. Р. Шор, С. П. Грановский. Прокатка профилей переменного сечения. Бюллетень авиационной промышленности, № 5, 1947.
3. Э. Р. Шор. О применении полуфабрикатов переменного сечения. Техника воздушного флота, № 4, 1948.
4. Э. Р. Шор. Назначение и свойства профилей переменного сечения. Труды МАП СССР, вып. 74, Оборонгиз, 1948.
5. Э. Р. Шор. Станы для прокатки листов переменного сечения. Вестник машиностроения, 1959, № 10.
6. С. П. Грановский. Давление металла на валки при холодной прокатке полос с переменным обжатием. Сталь, № 9, 1949.
7. С. П. Грановский. Исследование процесса прокатки полос переменного сечения. Машгиз, 1949.
8. А. И. Целиков и Е. С. Рокотян. Советское станкостроение за 40 лет. Новое в тяжелом машиностроении, ЦНИИТМАШ, № 3, 1957, 9—21.
9. А. Е. Гуревич, Н. Н. Дружинин, М. И. Рейфисов. Электропривод станков для прокатки профилей переменного сечения. Труды ЦНИИТМАШ, кн. 50, Машгиз, 1952.
10. А. И. Целиков. Автоматизация технологических процессов в машиностроении путем применения прокатки. Сб. «Автоматизация технологических процессов в машиностроении». Изд. АН СССР, 1955.
11. Е. С. Рокотян и Э. Р. Шор. Бюллетень технико-экономической информации Госплана СССР, № 1, 1948, 4—6.
12. А. С. Остринский, И. Б. Рубинштейн. Машина для правки листов переменного сечения. Вестник машиностроения, № 6, 1956.
13. Э. Р. Шор, А. М. Когос. Новое оборудование для холодной прокатки листов и лент. Металлург, 1959, № 8.
14. Э. Р. Шор и В. Ф. Калугин. Сверхобжатия в комбинированном процессе прокатки волочения, Сталь, № 4, 1949.
15. В. Ф. Калугин. Исследование процесса прокатки — волочения в неприводных валках. Сб. «Исследование деформируемости сплавов», Оборонгиз, 1955.
16. А. И. Целиков, Е. С. Рокотян, Э. Р. Шор. Новые прокатные станы. Металлург, 1959, № 2.
17. А. И. Целиков, Е. С. Рокотян, Э. Р. Шор. Новые технологические процессы прокатки. Металлург, 1959, № 3.
18. Производство листов переменного сечения из алюминиевых сплавов. «Modern Metals», 1957, т. 13, № 6, 48—50.
19. Прокатка клиновидных алюминиевых листов «Steel», 1955, т. 132, № 21, 118—119.
20. Прокатка профилей переменного сечения. «Hüttnische listy», № 3, 1957, 222—236.
21. А. И. Колпашников. Интенсификация режима в производстве листов из алюминия и его сплавов. Бюллетень технико-экономической информации АН СССР, 1957, № 2.
22. А. И. Колпашников. Новое в технологии производства листов из алюминия и его сплавов. Филиал Всесоюзного института научно-технической информации АН СССР, 1958.
23. А. И. Целиков, Э. Р. Шор, Е. С. Рокотян, А. Е. Гуревич и А. В. Кругликов. Авторское свидетельство № 87892 1950 г. на стан «дуо» или «кварто» для прокатки листов и полос переменного сечения.
24. А. И. Целиков, Э. Р. Шор, Е. С. Рокотян, А. Е. Гуревич и А. В. Кругликов. Авторское свидетельство № 88693 1950 г. на стан для прокатки — волочения в горячем и холодном состоянии тавровых профилей переменного сечения.
25. А. И. Целиков, Э. Р. Шор, Е. С. Рокотян, А. Е. Гуревич и А. В. Кругликов. Авторское свидетельство № 89485 1950 г. на электропривод для прокатного стана, предназначенного для прокатки листов и профилей переменного сечения.
26. А. И. Целиков, Э. Р. Шор и В. Ф. Калугин. Авторское свидетельство № 80844 1949 г. на способ волочения профилей из черных металлов.
27. Э. Р. Шор и И. Г. Ковалев. Авторское свидетельство № 87493 1950 г. на станок для правки профилей переменного сечения.
28. А. И. Целиков. Автоматизация обработки металлов давлением. Сб. «Комплексная автоматизация технологических процессов». Изд-во АН СССР, 1957.
29. А. И. Целиков, Е. И. Левин и др. Авторские свидетельства на станы для поперечно-винтовой прокатки № 84339 и 84905 1949 г.
30. Г. А. Лившиц. Исследование поперечно-винтовой прокатки профилей периодического сечения на трехвалковом стане. Прокатные станы, вып. 5. Машгиз, 1955.
31. А. И. Целиков, В. П. Анисифоров. Новая технология прокатки периодических профилей и экономия металлов. За экономию металлов, № 5, 1952.
32. В. П. Анисифоров. Перспективы производства круглых профилей переменного сечения методом поперечного проката. Доклад, опубликованный в книге «Материалы научно-технического совещания по рационализации профилей проката». Профиздат, 1955. См. также бюллетень ЦИИИ МЧМ, № 9, 1956.
33. В. П. Анисифоров. Поперечно-винтовая прокатка периодических профилей. Статья в книге «Прогрессивная технология кузнечно-штамповочного производства». Машгиз, 1953.
34. В. П. Анисифоров и И. И. Казанская. Поперечно-винтовая прокатка круглых периодических профилей. Бюллетень технико-экономической информации. АН СССР, № 7, 1955.
35. В. П. Анисифоров, С. П. Грановский и В. П. Васильчиков. Поперечно-винтовая прокатка круглых периодических профилей, шаров и шестерен. Рационализация профилей проката. Труды научно-технического совещания Профиздат, 1956.
36. В. А. Жаворонков. Исследование первых промышленных станков для поперечно-винтовой прокатки профилей переменного сечения. Прокатные станы и технология прокатки, вып. 62. Машгиз, 1956, стр. 110—126.
37. М. В. Барбарич и Ф. П. Кирпичников. Новые методы периодической прокатки металлов. Филиал ВИНТИ АН СССР, 1958, стр. 10—23.
38. А. И. Целиков и В. А. Жаворонков. Новые методы производства проката. Механизация трудоемких и тяжелых работ, № 6, 1957.

39. В. А. Жаворонков. Исследование силовых воздействий на станах поперечно-винтовой прокатки периодических профилей. Сб. работ МВТУ «Прокатные станы и технология прокатки», № 80, 1957.
40. И. И. Казанская. Новые методы поперечно-винтовой прокатки периодических профилей. Сб. «Прогрессивная технология горячей штамповки». Машгиз, 1955.
41. Е. А. Жукевич-Стоша и О. П. Соловьев. Поперечно-винтовая прокатка периодических профилей круглого сечения. Госплан СССР ЦНИИТМАШ. Брошюра № 23—9, 1957, стр. 3—16.
42. В. П. Анисифоров и И. И. Казанская. Применение круглых периодических профилей проката в машиностроении. Госплан СССР, ЦНИИТМАШ, Брошюра № 23—9, 1957, стр. 16—45.
43. В. С. Смирнов. К теории периодического проката для целей горячей штамповки. Прогрессивная технология кузнечно-штамповочного производства. Кн. 31, Машгиз, 1952.
44. А. Д. Бочуки. Штамповка деталей из периодического проката. Автомобильная и тракторная промышленность, № 5, 1957.
45. П. Ф. Балин. Исследование процесса косой прокатки спиральными валками профилей периодического сечения. Машгиз, 1949.
46. В. П. Анисифоров и И. И. Казанская. Прокатка периодических профилей на трехвалковых станах. Поперечная прокатка в машиностроении, Машгиз, 1957 г., стр. 275—312.
47. С. П. Грановский, А. А. Громов и В. И. Ефанов. Прокатка шаров. Сталь № 4, 1956.
48. А. В. Ремизов, К. Н. Киселев и В. И. Ефанов. Стан для поперечной прокатки шаров и наплавка калибров рабочих валков. Вестник машиностроения, № 9, 1956.
49. С. П. Грановский. Поперечная прокатка заготовок в винтовых калибрах. Прогрессивная технология кузнечно-штамповочного производства ВНИТОМАШ, вып. 31. Машгиз, 1952.
50. В. С. Смирнов. Поперечная прокатка. Машгиз, 1948.
51. С. П. Грановский, И. С. Победин и Н. В. Мехов. Прокатка периодических профилей в винтовых калибрах. Поперечная прокатка в машиностроении. Машгиз, 1957, стр. 170—268.
52. А. И. Целиков. Прогрессивные процессы обработки давлением на заводах массового производства. Изд-во АН СССР, 1955.
53. С. В. Воробьев. Авторское свидетельство № 71454 1948 г. на стан для прокатки цилиндрических шестерен.
54. А. Д. Кузьмин и Л. Д. Взмуждаев. Авторское свидетельство № 91433, 1951 г. на стан для прокатки зубчатых колес.
55. А. Д. Кузьмин. Исследование процесса прокатки цилиндрических зубчатых колес. ЦНИИТМАШ, кн. № 42. Машгиз, 1954.
56. А. Д. Кузьмин. Изготовление цилиндрических зубчатых колес горячей прокаткой. Прокатные станы и технология прокатки, № 62. Машгиз, 1955, стр. 37—74.
57. А. Д. Кузьмин и М. В. Васильчиков. Из опыта промышленного производства цилиндрических зубчатых колес методом горячей прокатки. Вестник машиностроения, № 9, 1955.
58. А. Д. Кузьмин, М. В. Васильчиков и М. В. Барбарич. Технология тяжелого машиностроения, № 3, 1957.
59. А. Д. Кузьмин и М. В. Васильчиков. Прокатка цилиндрических зубчатых колес. Поперечная прокатка в машиностроении. Машгиз, 1957, стр. 315—369.

60. В. В. Половиков. Прокатка зубьев колес среднего модуля высшей точности на ХТЗ. Бюллетень технико-экономической информации АН СССР, № 9, 1956.
61. В. Ш. Лурье. Горячая прокатка зубьев шестерен. Информационный технический бюллетень Строймаша, вып. 3, 1956.
62. Б. М. Альтман. Изготовление шестерен с образованием зубьев методом пластической деформации металла. Судпромгиз, 1956.
63. С. И. Абрамсон. Горячее накатывание зубьев цилиндрических зубчатых колес. Московский дом научно-технической пропаганды, серия машиностроение, вып. 18, Москва, 1957.
64. А. Д. Кузьмин, М. В. Васильчиков и М. В. Барбарич. Контактная усталость зубьев шестерен, изготовленных горячей прокаткой. Вестник машиностроения, № 3, 1955.
65. П. П. Бразирович, П. В. Быков и др. Изготовление шестерен методом пластической деформации. Углетехиздат, 1956.
66. А. М. Дин. Накатка зубьев шестерен. Ленинградский дом научно-технической пропаганды, вып. 3, Ленинград, 1956.
67. Н. К. Шлямин. Накатка зубчатых колес. Технология автомобильной промышленности, № 3, 1955.
68. Е. М. Ходов. Изготовление шестерен накатыванием. Машгиз, 1955.
69. В. В. Половиков, В. А. Боджаков, И. Н. Петров. Накатка шестерен с индукционным нагревом заготовок. Автомобильная и тракторная промышленность, № 5, 1957.
70. С. М. Гамазков и И. З. Словохочев. Индукционный нагрев заготовок для прокатки зубчатых колес. Институт технико-экономической информации АН СССР, 1954.
71. М. В. Барбарич. Накатка конических шестерен в горячем состоянии. Автомобильная и тракторная промышленность, № 5, 1957.
72. А. Д. Кузьмин, М. В. Васильчиков и М. В. Барбарич. Авторское свидетельство № 554632/25, 1954 г. на способ прокатки конических шестерен.
73. М. В. Барбарич и Ф. П. Кирпичников. Новые методы периодической прокатки металлов. Филиал ВИНТИ, АН СССР, 1957, стр. 41—48.
74. М. В. Васильчиков, М. В. Барбарич и Ф. П. Кирпичников. Накатка резьбы на винтах домкратов. Автомобильная и тракторная промышленность, № 11, 1956.
75. Н. В. Соколов. Накатывание трапецеидальной резьбы на деталях судовой арматуры. Судпромгиз, 1955.
76. М. М. Волков и Ф. П. Кирпичников. Накатывание крупной резьбы и червяков. Госплан СССР. ЦНИИТМАШ. Брошюра № 23—9, 1957, стр. 45—64.
77. М. М. Волков и Ф. П. Кирпичников. Стан для накатывания крупных винтов и червяков. Новое в тяжелом машиностроении. № 4, 1957.
78. М. В. Барбарич и Ф. П. Кирпичников. Новые методы периодической прокатки металлов. Изд. филиала АН СССР, 1957, стр. 79—89.

