

Инж. В. Д. ТРОФИМЧУК

ТОЧНОСТЬ ПРИ ПРОКАТКЕ
И ФАКТОРЫ,
ЕЕ ОБУСЛОВЛИВАЮЩИЕ

Цена 6 руб. 50 коп.



УКРАИНСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ
ГОСУДАРСТВЕННОГО НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ИЗДАТЕЛЬСТВА
ЛИТЕРАТУРЫ ПО ЧЕРНОЙ И ЦВЕТНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ
„МЕТАЛЛУРГИЗДАТ“
Харьков • 1940 • Москва

Предисловие

В двух основных производствах металлургических заводов, а именно, выплавке чугуна и выплавке стали, задача получения надлежащего качества продукции (чугуна и стали) заключается в получении металла требуемого химического состава, имеющего соответствующие физические и другие свойства. Что касается формы и размеров получающейся продукции, то при выплавке, например, чугуна, даже если он отливается в чушки, этот вопрос не играет никакой роли. Точно также при выплавке стали разрешение задачи получения слитков требуемой формы и размеров не представляет никакой трудности, так как выбранные формы и размеры изложниц сами по себе предопределяют форму и размеры слитков с вполне удовлетворительной для дальнейшей переработки точностью.

Совершенно иначе обстоит дело в области третьего основного производства металлургических заводов — в области прокатного производства.

Получение продукции требуемой формы, точнее, требуемого сечения, при этом с требуемой условиями дальнейшей службы или переработки степенью точности размеров, составляет сущность технологического процесса прокатки. Разрешение этой задачи — очень сложно. В то время как по вопросам получения чугуна и стали надлежащего качества имеется громадная литература, по вопросу получения прокатной продукции с требуемой точностью размеров литературы почти нет. В иностранной литературе, насколько нам известно, имеется очень ограниченное число сравнительно небольших журнальных статей, рассматривающих частично этот вопрос. Что касается нашей литературы, то в ней по вопросу точности прокатки почти ничего нет.

Между тем вопрос получения прокатной продукции с возможно большей точностью размеров в последнее время делается все более и более актуальным, и с этой задачей производственникам приходится сталкиваться повседневно.

Отв. редактор Б. А. КОВАЛЬ
Техредактор Л. М. БУХБИНДЕР
Корректор В. КЕМАРСКАЯ

Актуальность вопроса получения прокатной продукции с возможно большей точностью и объясняется появление данной книги „Точность при прокатке и факторы, ее обуславливающие“.

Эта тема рассматривается применительно к прокатке стали, притом только к прокатке в горячем состоянии, не касаясь ни холодной прокатки, ни прокатки цветных металлов, и предназначена для прокатчиков черной металлургии. Но поскольку прокатка стали и прокатка цветных металлов имеют между собой много общего, полагаю, что данная книга может представлять некоторый интерес и для лиц, работающих в области прокатки цветных металлов.

В. Д. Трофимчук

ВВЕДЕНИЕ

По мере развития техники требования, предъявляемые к качеству продукции прокатных станов, делаются все более и более высокими, в частности, повышается требование к степени точности размеров профиля. Для некоторых целей точность профиля прокатной продукции сама по себе может не играть особой роли (например, у железа, идущего на арматуру для железобетона), в других же случаях точность профиля может иногда обуславливать самую возможность технологического процесса дальнейшей переработки прокатной продукции. Это, например, имеет место в случае переработки прокатной продукции на современных точных станках-автоматах: работа на этих станках делается невозможной, если к ним поступает прокатный материал со значительными отступлениями от требующихся размеров.

Если требуется утоньшение прокатного материала, что делается посредством холодной протяжки его, повышенная точность материала удешевляет работу, так как уменьшается число протяжек и происходит меньший износ досок для протяжки (волочильных досок). Наконец, при достаточной точности прокатного материала в некоторых случаях можно совсем избежать промежуточной операции — протяжки, обычно необходимой для возможности дальнейшей обработки прокатной продукции на точных станках-автоматах.

Но даже в тех случаях, когда высокая точность профиля проката сама по себе не имеет особого значения, и недостаточная точность размеров не создает каких-либо неудобств для дальнейшей службы или переработки прокатной продукции, все же отсутствие требования определенной точности размеров профиля может способствовать получению прокатной продукции излишней толщины и, следовательно, вызвать лишний, бесполезный расход металла.

При производстве мелких сортов проката, как, например, проволоки-катанки, увеличение диаметра на несколько десятых миллиметра вызывает значительный перерасход материала. Так, например, если, прокатывая катанку диаметром 6 *мм*, превышают эту величину на 0,2—0,3 *мм*, то вес погонного метра катанки увеличивается соответственно на 4—10%.

При прокатке тонких листов играют роль уже не десятые

дели миллиметра, а сотые. Так, например, отклонения в 0,025 *мм* у листов, идущих на изготовление жести, дают разницу в весе ящика жести размером 508 × 711 *мм* общим весом 49 *кг* около 4,1 *кг*, т. е. 8,4% [1].

Указанными причинами объясняется то, что в настоящее время прогресс прокатного дела как в строительстве прокатных станов, так и вообще прогресс технологического процесса прокатки идет не только в направлении увеличения производительности станов, но также и в направлении увеличения точности размеров получающейся на них продукции.

В данной книге будет рассмотрено, каким образом различные факторы, принимающие участие в процессе изготовления прокатной продукции, влияют на точность размеров этой продукции. Из приводимого дальше обширного перечня этих факторов видно, насколько сложна рассматриваемая тема. Нужно оговориться, что мы не ставим себе целью сколько-нибудь полно исчерпать эту тему; мы хотим, показав разнообразие и многочисленность факторов, обусловливающих получение точных размеров проката, и иллюстрируя каждый из факторов несколькими примерами, помочь читателю получить сравнительно полное представление о главнейших сторонах рассматриваемого вопроса.

Полагаем, что лицам, интересующимся вопросом точности размеров прокатной продукции, такое рассмотрение этого вопроса может несколько помочь наметить те пути, по которым нужно ити в отдельных конкретных случаях для того, чтобы получить прокатную продукцию возможно большей точности¹.

Понятия „точность профиля“ и „правильность профиля“

Прежде чем рассматривать, какие факторы обусловливают получение точных размеров прокатной продукции, какие новые приемы вводятся в последнее время для повышения точности размеров проката, скажем несколько слов о самом понятии „точность прокатной продукции“.

Понятия „точность профиля“ и „правильность профиля“ хотя и близки между собой, но не вполне тождественны. Под „правильностью профиля“ следует понимать прежде всего отсутствие искажения очертаний профиля в поперечном сечении штуки (отсутствие большой овальности, косины, невыполнения углов и пр.).

От точного же профиля кроме того требуется, во-первых, возможно меньшее отклонение размеров от номинальных в каждом поперечном сечении и, во-вторых, возможно меньшее колебание размеров по длине полос.

Возможен случай, что профиль будет в известном смысле правильный, но неточный; примером этого может служить круг-

лый профиль, имеющий в поперечном сечении правильную окружность, но по размеру диаметра выходящий за пределы установленных допусков.

Условность понятий „точный профиль“ и „неточный профиль“

Понятия „точный профиль“ и „неточный профиль“, конечно, условны. Так, например, по нашему ОСТ 8, действовавшему до 1933 г., для круглых профилей точность $\pm 0,5 \text{ мм}$ требовалась только для размеров до $\varnothing 20 \text{ мм}$; для профилей же, имеющих диаметр больше 20 *мм* и до 40 *мм*, точность допускалась меньшая, а именно $\pm 0,75 \text{ мм}$. По тому же ОСТ 8, но редакции 1933 и 1935 г., точность в пределах $\pm 0,5 \text{ мм}$ требуется для размеров до 25 *мм* включительно.

Следовательно, если при прокатке круглого диаметром, например, 22 *мм* полосы, получившиеся с диаметром 22,7 или 21,4 *мм*, т. е. с отступлениями $+0,7 \text{ мм}$ и $-0,6 \text{ мм}$, считались до вступления в силу ОСТ 8 редакции 1933 г. удовлетворительными по точности размеров, то по ОСТ 8 редакции 1933 г. (или 1935 г.) такие полосы не годятся в 1-й сорт, как имеющие неточный профиль, и переводятся во 2-й сорт.

Величина допусков прокатной продукции (горячекатаной)

Здесь, как и во всей книге, мы будем говорить *о точности размеров только в отношении поперечного сечения прокатной продукции* (например, для круглых профилей — о точности их диаметра, а для листов — о точности их толщины). Точности же размеров по длине полос или листов, а также точности размеров по ширине листов мы здесь касаться не будем, так как она определяется не прокаткой, а степенью совершенства оборудования, на котором производится обрезка вышедшей из станов прокатной продукции, а также тщательностью приемов работы при обрезке этой продукции.

Степень точности размеров, которая требуется от прокатной продукции, устанавливается, во-первых, в зависимости от крупности профиля, а в случае листов — от их толщины (учитывая также и ширину их) и, во-вторых, от того назначения, которое в дальнейшем дается прокатной продукции: чем крупнее профиль или чем толще (а также и шире) лист, тем большей величины разрешаются допуски, т. е. отклонения от требуемых размеров (иногда даже до целых миллиметров). Чем более мелкого сечения прокатная продукция, тем меньше величина устанавливаемых допусков. У мелких круглых профилей допуски достигают десятых долей миллиметра, а у тонких листов (например, идущих на изготовление жести) — даже сотых долей миллиметра.

О степени точности, требуемой от прокатной продукции и

¹ Более полное освещение рассматриваемой темы не произведено также и вследствие ограниченности объема данной книги.

Таблица 2

Сталь тонкая листовая ОСТ 20

Для листов размеров до сверхнормальных			Для листов сверхнормальных размеров		
Толщина листов (номинальная) мм	Отклонения в толщине мм	Допуск в весе %	Толщина листа (номинальная) мм	Размеры превышения	
				По ширине мм	По длине мм
4			4		
3,75			3,75		
3,50		± 7	3,50	1400	4000
3,25			3,25		
3	$\pm 0,25$		3		
2,75			2,75		
2,5			2,5	1400	3000
2,25			2,25		
2		± 8	2		
1,75			1,75		
1,5			1,5	1300	2800
1,38		$\pm 0,15$	1,38		
1,25			1,25	1200	2500
1,13		± 9	1,13		
1,0			1,0		
0,88			0,88		
0,75	$\pm 0,12$		0,75	1000	2000
0,63			0,63		
0,56	$\pm 0,08$		0,56	710	1420
0,5			0,5		
0,44			0,44		
0,38	$\pm 0,05$	± 11	0,38	510	710
0,32			0,32		$\pm 0,12$

Таблица 3

Допуски по толщине тонких листов (до 4 мм) для качественной конструкционной углеродистой стали, по ОСТ НКТП 4242
(с 1/II 1938 г.)

Толщина листов мм	Допуски по толщине мм			Толщина листов мм	Допуски по толщине мм			
	Степень точности				Степень точности			
	A	B	V		A	B	V	
От 0,2 до 0,5	$\pm 0,04$	$\pm 0,05$	$\pm 0,07$	Свыше 1,5 до 1,7	$\pm 0,12$	$\pm 0,14$	$\pm 0,16$	
Свыше 0,5 до 0,6	$\pm 0,05$	$\pm 0,06$	$\pm 0,08$	" 1,7 "	1,9	$\pm 0,13$	$\pm 0,15$	
" 0,6 " 0,7	$\pm 0,06$	$\pm 0,07$	$\pm 0,09$	" 1,9 "	2,2	$\pm 0,14$	$\pm 0,16$	
" 0,7 " 0,9	$\pm 0,06$	$\pm 0,08$	$\pm 0,10$	" 2,2 "	2,5	$\pm 0,15$	$\pm 0,17$	
" 0,9 " 1,1	$\pm 0,07$	$\pm 0,09$	$\pm 0,12$	" 2,5 "	3,0	$\pm 0,16$	$\pm 0,18$	
" 1,1 " 1,3	$\pm 0,09$	$\pm 0,11$	$\pm 0,13$	" 3,5 "	4,0	$\pm 0,20$	$\pm 0,22$	
" 1,3 " 1,5	$\pm 0,11$	$\pm 0,12$	$\pm 0,15$				$\pm 0,30$	

В Германии по сведениям, относящимся к 1928 г., горячекатаное обручное железо при требовании обычной точности прокатывалось с допусками по толщине от $\pm 0,1$ до $\pm 0,25$ мм в

достигаемой на практике на прокатных станах СССР, можно судить по допускам, указанным в так называемых ОСТ на прокатную продукцию. ОСТ имеются для всех профилей проката. Время от времени они пересматриваются.

В дальнейшем при рассмотрении различных примеров, касающихся точности прокатки, будут приводиться относящиеся к этим примерам величины степени точности размеров. Чтобы отдельные случаи точности размеров можно было с чем-нибудь сопоставлять, мы приведем здесь три таблицы (1, 2 и 3), в которых указаны допуски для двух основных видов проката (круглый профиль и тонкие листы), установленные ОСТ СССР, действовавшими в 1938 г., причем для тонких листов указаны допуски для обыкновенной стали (табл. 2) и допуски для качественной конструкционной углеродистой стали, которая должна прокатываться с более высокой степенью точности (табл. 3).

Таблица 1

Допуски по диаметру для круглой стали по ОСТ НКТП 2395
(с 19/VI 1936 г.)

Диаметр мм	Обычная точность		Повышенная точность	
	Допускаемые отклонения мм	Овальность не более мм	Допускаемые отклонения мм	Овальность не более мм
До 25	$\pm 0,5$	0,5	$\pm 0,3$	0,3
Свыше 25 до 40 вкл.	$\pm 0,75$	0,75	$\pm 0,4$	0,4
* 40	± 1	1,0		
* 60	$\pm 1,25$	1,25		
" 80	$\pm 1,25-1,5$	1,5		
" 100	$\pm 1,5-2,0$	2,0	$\pm 1,0\%$	1,0%
" 120	$\pm 1,75-2,25$	2,25		
" 150	$\pm 2,0-3,0$	3,0		

Примечание: Под величиной овальности подразумевается разность между наибольшим и наименьшим диаметром в одном сечении.

На лучших американских и европейских станах точность прокатной продукции достигает большой величины.

Так, например, во Франции, по свидетельству М. Ру, еще в 1928 г. по техническим условиям железных дорог допуски для круглого железа не должны были превышать $\pm 1,5\%$, что для круглого железа диаметром 16 мм соответствует $\pm 0,25$ мм. Для сутунки, идущей на изготовление кровельного железа, во Франции до первой империалистической войны допуски были в пределах $\pm 5\%$ по весу, а после войны они понизились до $\pm 2,5\%$; некоторые же потребители сутунки требуют допуски не больше $\pm 1,5\%$. Поскольку сутунки практически являются неизменной, указанные допуски по весу требуют допусков по толщине сутунки, выражаемых такими же процентами от ее толщины. Следовательно, для сутунки сечением 200×10 мм допуски по весу в 2,5% и 1,5% соответствуют допускам по толщине равным $\pm 0,25$ мм и $\pm 0,15$ мм [2].

зависимости от толщины и ширины профиля. При повышенной же точности прокатки при обрученном железе толщиной 0,7 мм точность увеличивалась до 0,02—0,04 мм. По ширине же допуски у обрученного железа были: $\pm 1,0$ мм для ширины до 80 мм, $\pm 1,25$ мм для ширины 80—150 мм, $\pm 1,5$ мм для ширины 150—300 мм и ± 2 мм для ширины 300—400 мм [3].

О точности, достигаемой в США при прокатке круглых профилей, можно судить по нижеследующим цифрам. Наш ОСТ 2395 для круглых профилей всех диаметров до 25 мм при требовании обычновенной точности дает допуски $\pm 0,5$ мм, а для случаев повышенной точности $\pm 0,3$ мм; по американским же стандартам в аналогичных случаях при прокатке с обычновенной точностью допуск дается 0,18 мм (0,007 дм) и при повышенной точности — 0,127 мм (0,005 дм), а иногда даже 0,10 мм (0,004 дм). Наконец, по свидетельству инж. А. В. Истомина известны случаи, когда проволока в США прокатывалась с допусками всего лишь 0,08 мм (0,003 дм) [4].

Стандартные допуски, по которым в США прокатываются в обычных случаях круглые и квадратные профили, указаны в табл. 4, заимствованной (в переработанном виде) у S. Weckstein'a [5].

Таблица 4

Допуски для круглого и квадратного профилей сортопрокатных станов США

Диаметр круга или сторона квадрата мм	Обычная точность		Повышенная точность	
	Допуск мм	Овальность мм	Допуск мм	Овальность мм
От 8 до 15,9 вкл.	$\pm 0,18$	0,25	$\pm 0,13$	0,20
Свыше 15,9 „ 22,2 „	$\pm 0,20$	0,30	$\pm 0,15$	0,23
„ 22,2 „ 25,4 „	$\pm 0,23$	0,33	$\pm 0,18$	0,25
„ 25,4 „ 28,6 „	$\pm 0,25$	0,38	$\pm 0,20$	0,30
„ 28,6 „ 31,8 „	$\pm 0,28$	0,41	$\pm 0,23$	0,33
„ 31,8 „ 34,9 „	$\pm 0,30$	0,46	$\pm 0,25$	0,38
„ 34,9 „ 38,1 „	$\pm 0,38$	0,53	$\pm 0,30$	0,46
„ 38,1 „ 50,8 „	$\pm 0,51$	0,58	$\pm 0,38$	0,56

Аналогичные величины допусков приводит инженер А. В. Истомин для качественной стали, выпускаемой мелкосортным станов одного крупного американского завода [4].

Приведенные цифры достигаемой степени точности при прокатке профилей круглого сечения не являются предельными. Так, например, на шестиклетьевом стане бельгийского типа, пущенном в 1934 г. в США компанией Морган Констракшн К-о Ургестер, Масс, при прокатке кремнистой пружинной стали достигают точности до $\pm 0,5$ мм [5].

На заводе Тимкен и К° (США, Кантон Огайо) при прокатке профилей круглого сечения, идущих в дальнейшем в протяжку в холодном состоянии, в случае заказов, требующих особо повышенной точности, достигают точности до 0,0127 мм (0,0005 дм).

Хотя эта точность получается в особых случаях, но важно то, что ее можно достичь прокаткой в горячем состоянии [6].

Перечень факторов, влияющих на точность прокатки

Факторы, обуславливающие точность размеров прокатной продукции, чрезвычайно разнообразны и многочисленны. Точность прокатки зависит в основном, во-первых, от оборудования, на котором производится прокатка, во-вторых, от того, как производится сам процесс прокатки, т. е. каким образом используется стан, и, в-третьих, от степени совершенства нагрева прокатываемого металла.

В соответствии со сказанным главные факторы, обуславливающие точность прокатки, можно сгруппировать следующим образом.

Факторы, относящиеся к оборудованию стана. Сюда относятся: а) система прокатного стана; б) тип конструкции клетей; в) конструкция отдельных деталей клетей и арматуры (проводок, линеек и пр.); г) степень совершенства изготовления станин стана, их деталей и арматуры клетей; д) качество прокатных валков (твердость, точность отдельки поверхности калибров и бочек, частота переточек, правильность обточки бочек и шеек и пр.); е) качество обслуживания стана (в том смысле, который будет разъяснен ниже).

Факторы, относящиеся к процессу прокатки (взятым в целом). Сюда относятся: а) калибровка и расположение калибров (система калибровки, конфигурация отдельных калибров, величина давлений в отдельных калибрах, характер расположения калибров на валках); б) способ прокатки; в) настройка стана; г) длина прокатываемых полос; д) скорость прокатки; е) равномерность темпов выдачи металла из печей или колодцев, перерывы в выдаче.

Факторы, относящиеся к нагреву прокатываемого металла: а) температура, до которой нагрет металл перед прокаткой; б) степень равномерности нагрева металла в нагревательных устройствах; в) величина падения температуры металла во время прокатки; г) сохранение или нарушение степени равномерности нагрева металла во время процесса прокатки.

Факторы, относящиеся к нагреву металла, будем рассматривать одновременно с факторами, относящимися к процессу прокатки, ибо некоторые из последних факторов, как, например, длина полос, скорость прокатки и др., влияют на точность профиля именно в связи с изменением степени нагрева металла в течение процесса прокатки.

A. ВЛИЯНИЕ НА ТОЧНОСТЬ ПРОКАТКИ ФАКТОРОВ, ОТНОСЯЩИХСЯ К ОБОРУДОВАНИЮ СТАНА

I. Влияние системы стана

Разной системы станы (рассматриваемые независимо от степени совершенства их изготовления) обусловливают разную степень точности получающейся на них продукции. Это происходит вследствие разной степени удобства настройки валков в станах различных систем, разной степени независимости прокатки в отдельных клетях, разного количества штук, одновременно прокатываемых в одной и той же клети, разной скорости прокатки, вызывающей разную величину падения температуры прокатываемых штук, и пр.

О влиянии системы стана на точность прокатной продукции можно судить на примере сопоставления обычных станов (линейного расположения для периодической прокатки) со станами непрерывными, для чего сравним проволочные и мелкосортные станы обеих систем.

1. Недостатки проволочных станов системы Гарретта в отношении точности профиля их продукции

На двадцати распространенных до первого-второго десятилетия двадцатого столетия проволочных станах системы Гарретта прокатка с целью возможно большей производительности производится одновременно в несколько ниток — до 5 и даже 7 ниток (многониточные станы), причем прокатка производится петлями. Примером таких станов является проволочный стан завода им. Дзержинского, могущий прокатывать в 5 ниток (фиг. 1).

Станам этого типа присущ ряд, так сказать, органических недостатков в отношении точности профиля прокатываемой ими проволоки. Недостатки эти следующие:

1. *Довольно значительные колебания щели между верхним и нижним валками* (так называемая „игра валков“) вследствие того, что число одновременно прокатываемых ниток не постоянно, а изменяется от максимально возможного числа до одной-двух ниток, отчего давление на валки подвержено значительным колебаниям.

2. *Значительная разница температур переднего и заднего*

концов у каждой прокатываемой штуки (нитки), что обусловливается длительным соприкосновением петель прокатываемого металла с чугунными плитами пола возле стана. Это соприкосновение вызывает охлаждение штуки, увеличивающееся к заднему концу ее, и тем больше, чем длиннее штука, ибо петли при длинных штуках получаются больше.

3. *Всобще довольно значительное охлаждение прокатываемых штук в целом*, так как скорость прокатки даже в последней чистовой клети у станов Гарретта не может превышать 9 м/сек, вследствие того, что с передней стороны чистовой линии работа производится вручную. При весьма большой длине образующихся между клетями петель и очень малом поперечном сечении охлаждение прокатываемых штук получается довольно значительное.

4. *Трудность при значительном количестве калибров правильно нарезки их* так, чтобы для всех калибров половинки их в нижнем валке точно совпадали со своими половинками в верхнем валке.

Совокупность всех этих причин значительно понижает точность размеров проволоки (катанки), выпускаемой проволочными станами типа Гарретта.

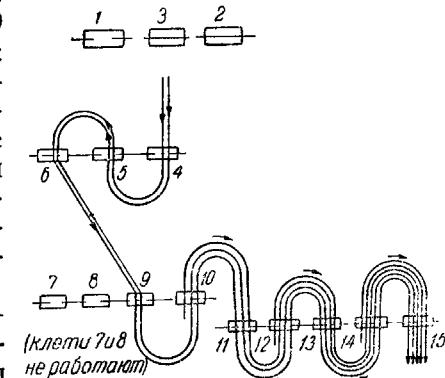
(Более подробно о влиянии вышеуказанных факторов на точность размеров профиля будет сказано дальше).

2. Преимущества проволочных станов непрерывного типа в отношении точности профиля получаемой продукции

Проволочные станы непрерывного типа при условии, если через клети их чистовых групп одновременно прокатывается не больше двух штук, в значительной мере свободны от недостатков, свойственных станам периодического действия типа проволочных станов Гарретта.

Расстояние между осями валков, а следовательно, и высота калибров чистовых клетей в значительно меньшей степени подвержены колебаниям; если же на каждой группе чистовых клетей прокатка ведется только в одну нитку, как, например, на стане типа фиг. 4, то высота калибров почти совершенно не изменяется (при нормальных условиях работы).

Так как в непрерывных станах штука проходит все клети без образования между клетями соприкасающихся с полом петель (даже коротких), то отпадает главная причина, вызывающая в станах Гарретта разницу температур между передним и задним концами одной и той же штуки.



Фиг. 1. Схема прокатки проволоки (\varnothing 6–6,5 мм) на проволочном стане завода им. Дзержинского

Охлаждение же прокатываемых штук в целом сравнительно незначительное вследствие того, что скорость прокатки на непрерывных проволочных станах чрезвычайно большая, а именно, до 23 м/сек на последней чистовой клети (вместо предельных 9 м/сек на станах Гарретта).

Незначительному охлаждению штук, прокатываемых на непрерывных проволочных станах, способствует и то обстоятельство, что у таких станов нагревательная печь находится в непосредственной близости от первой клети стана. Вследствие этого в то время, когда задний конец заготовки, из которой прокатывается проволока, еще находится в печи, передний конец этой же штуки уже наматывается на моталку (длина заготовки обычно 9 м).



Фиг. 2. Падение температуры прокатываемой проволоки $\varnothing 6,5$ мм при прокатке на непрерывном и полуунепрерывном станах (С. Pihl)

прокатке на непрерывном стане. При прокатке же проволоки на обычных станах Гарретта, поскольку у таких станов скорость прокатки меньше, чем у полуунепрерывных, падение температуры прокатываемого металла получается еще больше.

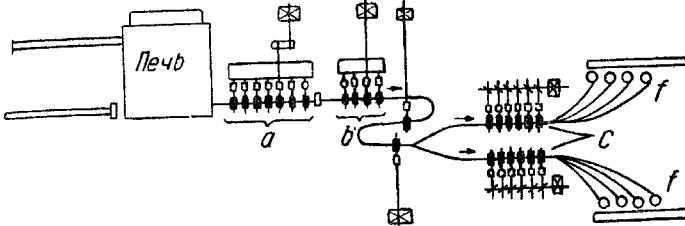
Наконец, точная нарезка калибров на валах достигается гораздо легче, если совпадение верхних и нижних половинок требуется только у двух калибров, а тем более, если это требование относится только к одному калибру.

В силу всех перечисленных причин точность прокатки на непрерывных проволочных станах выше, чем на проволочных станах системы Гарретта.

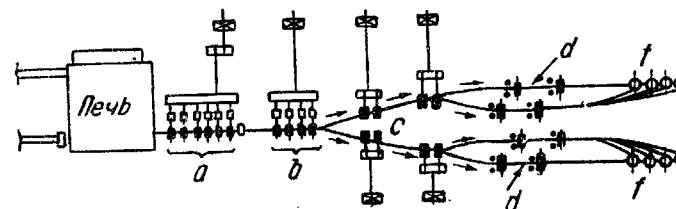
Поэтому, начиная с конца двадцатых годов текущего столетия, в США для прокатки проволоки с высокой точностью размеров профиля (причем стан должен давать весьма большую производительность) устанавливаются только непрерывные станы, причем они конструируются таким образом, что через последовательно расположенные клети чистовой группы («непрерывное» расположение) одновременно проходит или одна или не больше двух штук.

Получение же высокой производительности на непрерывных проволочных станах достигается тем, что чистовые клети у таких станов располагают в две параллельные группы, как это показано на фиг. 3, или даже в четыре группы, как это показано на фиг. 4.

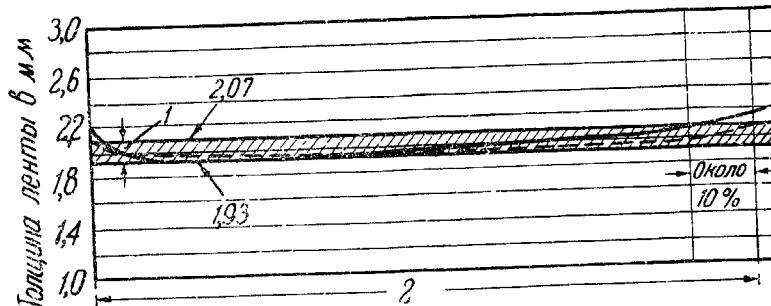
На фиг. 3 показан непрерывный проволочный стан для проволоки диаметром 5,5–6,6 мм, установленный в 1935 г. на английском заводе «Irlam»; у этого стана, имеющего две чистовых группы клетей, через первые 13 клетей одновременно проходит



Фиг. 3. Непрерывный проволочный стан (завода «Irlam» в Англии) с двумя чистовыми группами клетей:
a—первая черновая группа; b—вторая черновая группа; c—две чистовых групп; f—моталки (А. В. Истомин)



Фиг. 4. Непрерывный проволочный стан (Магнитогорского завода) с четырьмя чистовыми группами клетей:
a—первая черновая группа; b—вторая черновая группа; c—две промежуточные группы; d—четыре чистовые группы; f—моталки (А. В. Истомин)



Фиг. 5. Сравнение отклонения толщины ленты, получаемой прокаткой на полуунепрерывном (сплошная линия) и непрерывном (пунктирная линия) стане
1—допускаемое отклонение толщины $\pm 3,5\%$; 2—длина 50 м для полуунепрерывного стана и 100 м для непрерывного стана (F Winterhoff)

4 штуки, а через каждую чистовую группу в 6 клетей — по две штуки [4].

На фиг. 4 показан непрерывный проволочный стан Магнитогорского завода. У этого стана через каждую группу чистовых клетей прокатывается только одна штука (через черновую группу

пу одновременно прокатывается четыре штуки и через две средние группы по две штуки) [4].

Есть свидетельства, что в отношении точности и равномерности толщины продукции непрерывные станы имеют преимущество перед другими станами, в частности, перед полунепрерывными, также и при прокатке стальной ленты. Об этом можно судить по фиг. 5, показывающей, насколько более равномерной получается толщина стальной ленты (широкой) в случае прокатки ее на непрерывном широкополосном стане. Фиг. 5 относится к немецкому широкополосному непрерывному стану, пущенному в Динслакене в конце 1937 г. и предназначенному для прокатки лент и листов толщиной 1,25—10 мм при ширине 400—1300 мм [9].

3. Точность профиля и система станов для прокатки мелкосортных профилей

При прокатке проволоки для достижения большей точности профиля (одновременно с получением большей производительности) более пригодными оказываются непрерывные станы (по сравнению со станами периодического действия, т. е. станами Гарретта); иначе обстоит дело в случае прокатки мелкосортных профилей.

На непрерывных станах, в которых штука одновременно находится в целом ряде клетей, значительно труднее (по сравнению со станами периодического действия, в частности, со станами, работающими петлями) урегулировать скорости прохождения одной и той же штуки в разных клетях; регулировать же скорости необходимо, поскольку штука, постепенно уменьшаясь в поперечном сечении, быстро увеличивается в длину. Недостаточно точная регулировка скорости отдельных клетей вызывает или натяжение штуки между соседними клетями (если валки последующей клети по сравнению с валками предыдущей имеют большую чем нужно скорость), или образование у штуки петель между соседними клетями (если валки последующей клети по сравнению с валками предыдущей имеют меньшую чем нужно скорость).

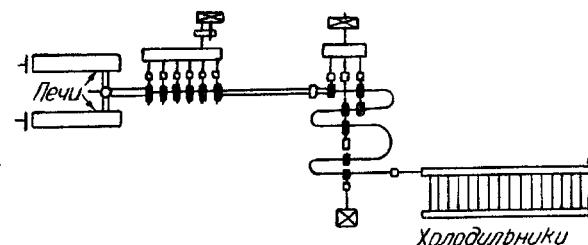
Как расстяжение штуки, так и образование ею петель искает профиль, и при прохождении штуки через последующие клети профиль получается неправильный, неточных размеров. Эти отрицательные последствия трудности взаимной регулировки скорости клетей в особенностиказываются при прокатке фасонных профилей: угольников, тавров и др. Хотя установкой отдельных приводов для каждой клети чистовых групп, а также установкой между клетями особых устройств, допускающих об разование между ними правильных петель небольшой величины, значительно облегчается регулировка скоростей и настройка непрерывных станов, тем не менее в отношении фасонных профилей этими мерами пока не удается полностью устранять вредные для точности и правильности профиля последствия от трудности регулировки скоростей и настройки стана.

Поэтому „чисто-непрерывных станов“, т. е. станов с последовательным расположением всех клетей, для прокатки сортового железа и стали построено очень незначительное количество. По данным инж. А. В. Истомина, таких станов построено только шесть, из которых пять в США и один в Европе, причем последний „чисто - непрерывный стан“ для сортовой прокатки в США установлен в 1931 г. [4].

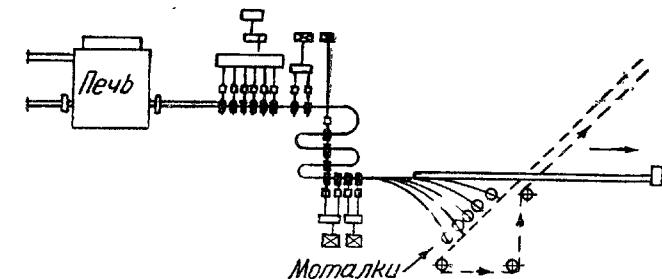
Все эти станы работают удовлетворительно в смысле точности профиля продукции могут только при прокатке простых профилей: круглого, квадратного, полосового.

Более пригодными для прокатки мелкосортных фасонных профилей (угловых, тавровых, швеллеров), с получением правильных размеров поперечного сечения, оказываются полунепрерывные станы, т. е. станы, у которых черновые клети расположены как у непрерывных станов, а чистовая группа клетей — петлевая. Стан такого типа показан на фиг. 6.

Однако для выпуска продукции разнообразных (простых и фасонных) профилей удовлетворительной правильности и точности, при высокой производительности стана, наилучшими оказываются полунепрерывные комбинированные станы, имеющие



Фиг. 6. Полунепрерывный сортовой стан
(А. В. Истомин)



Фиг. 7. Полунепрерывный комбинированный стан с двумя чистовыми линиями (петлевой и непрерывной) Магнитогорского завода (А. В. Истомин)

по две чистовые линии: петлевую и непрерывную (подобно стану, показанному на фиг. 7).

Такие станы могут, смотря по надобности, выпускать или сортовую продукцию различных профилей прокатывая ее на петлевой чистовой линии, или же проволоку (иногда и полоску) с непрерывной чистовой группой клетей. Большинство станов для прокатки сортового железа устанавливаются в последние

годы как в США, так и в Европе, являются именно полунепрерывными комбинированными станами [4].

II. Влияние типа клетей станов

Прокатные станы разной системы оказывают влияние на точность выпускаемой ими продукции не только теми особенностями, которые свойственны им в целом, но также (и притом в весьма значительной степени) особенностями конструкции своих клетей. Конечно, в этом отношении особенно важны конструкции чистовых клетей.

Влияние конструкции клетей прокатных станов на точность их продукции, рассматриваемое опять таки независимо от степени совершенства изготовления клетей, в основном определяется двумя факторами: во-первых, точностью и удобством настройки валков; во-вторых, той величиной „игры валков“, которая получается при прокатке.

В виду того, что „игра валков“ имеет весьма значительное влияние на точность прокатной продукции, она, как таковая, будет подробно рассмотрена отдельно. Здесь же укажем только, что под „игрой валков“ прокатных станов понимаются те изменения расстояния между валками, которые получаются каждый раз во время прохождения через валки прокатываемой штуки.

Клети прокатных станов бывают разных конструкций: „дую“, „трио“, „доппель-дую“ и др. Всем этим типам клетей свойственны разные возможности в смысле степени точности размеров прокатываемой на них продукции.

1. Клети дуо и трио

Станы с клетями трио при прочих равных условиях дают меньшую степень точности профиля, чем станы с клетями дуо. Это объясняется тем, что в клетях трио одновременная точная установка калибров между верхним и средним валками и между средним и нижним валками, конечно, более затруднительна, чем в случае установки калибров только в одной паре валков в клетях дуо.

2. Клети доппель-дую

Клети системы доппель-дую также имеют преимущество перед клетями трио в отношении точности прокатки. Шейки валков и подушки для них в клетях доппель-дую могут иметь большие размеры, чем это возможно в клетях трио, так как в последних очень мало места для подушки между верхним и средним валками; благодаря этому валки в клетях дуо лучше лежат в подшипниках. Калибровать обе пары валков можно независимо друг от друга; установка валков легче и точнее, чем в клетях трио. Благодаря этим преимуществам станы доппель-дую особенно пригодны для прокатки с большой точностью [10]. (Кроме того, на валках клетей системы доппель-дую можно по-

местить большее число калибров, чем на паре валков клетей дуо).

Исходя из преимуществ указанных клетей, при постройке металлургического комбината „Запорожсталь“ для мелкосортного стана, предназначенного для прокатки инструментальных стальных, был выбран тип клетей доппель-дую (стан пущен в 1933 г.).

Первый всесоюзный съезд по качественным сталим (в Москве в 1933 г.) тоже рекомендовал для получения большей точности размеров проката (в особенности, если заказы на разные профили небольшие) ставить клети системы доппель-дую, как „обеспечивающие большую точность проката вследствие большей жесткости валков и предоставляющие возможность располагать большим, чем для станов трио, числом калибров в одной клети [11].

3. Клети системы Эрдмана

Во Франции были распространены станы с клетями Эрдмана. У нас в Союзе такие клети тоже имеются, например, на крупносортном стане „850“ Макеевского завода. Характерной особенностью их является наличие особых рычагов, упирающихся в подушки валков, и особых болтов, упирающихся в свою очередь в эти рычаги (фиг. 17). Изгиб этих рычагов при прохождении штук и одновременное сжатие болтов, упирающихся в рычаги, обусловливают довольно значительную „игру валков“, а поэтому подобные станины мало пригодны для чистовых клетей в тех случаях, когда к прокатной продукции предъявляются строгие требования в отношении точности размеров.

4. Клети кварт

При холодной прокатке полос, от которых требуется значительная точность размеров (в особенности при прокатке широких полос, а также и тонких листов), для уменьшения игры валков, вызываемой прогибом самих валков, употребляют многовалковые клети (четырехвалковые, шестивалковые и пр.), у которых тонкие рабочие валки упираются в поддерживающие их более крупного диаметра опорные валки. Такие клети в настоящее время начинают применять и для горячей прокатки тонких листов и полос; это клети системы кварт (фиг. 59). У нас в Союзе клети системы кварт имеются, например, непрерывный тонколистовой стан завода „Запорожсталь“, пущенный в 1938 г.

III. Влияние конструкции станин

Клети прокатных станов, кроме отличий, определяемых принадлежностью их к тому или другому типу (дуо, трио, доппель-дую), могут еще отличаться в более узком смысле, а именно, конструкцией своих станин. Разной конструкцией станины могут по-разному влиять на игру валков, а следовательно, и на точность прокатной продукции.

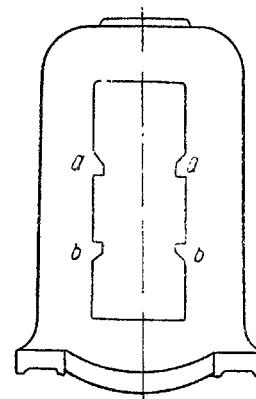
1. Станины открытого и закрытого типов

У двух клетей, отличающихся только тем, что у одной станины закрытого типа, а другой — открытого, точность (при прочих равных условиях) получается больше у той из них, у которой станины закрытого типа. Причина этого весьма простая: болты в открытых станинах, соединяющие крышку станины со стойками ее, и чеки в верхней и нижней частях этих болтов, являются дополнительными источниками игры валков, вызывающими увеличение зазора между крышками и стойками станин.

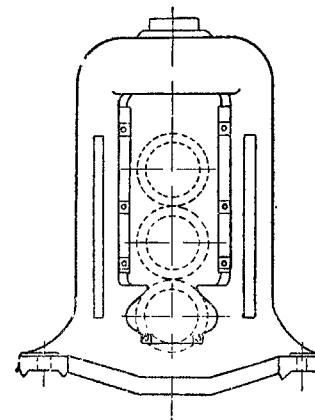
Станины же закрытого типа, представляющие одно целое, являются в этом отношении более жесткими.

2. Способ установки подушек в станинах

В качестве другого примера, показывающего влияние конструкции станин на точность профиля, приведем станины закрыто-



Фиг. 8. Станина с выступами для верхней и нижней подушек среднего вала



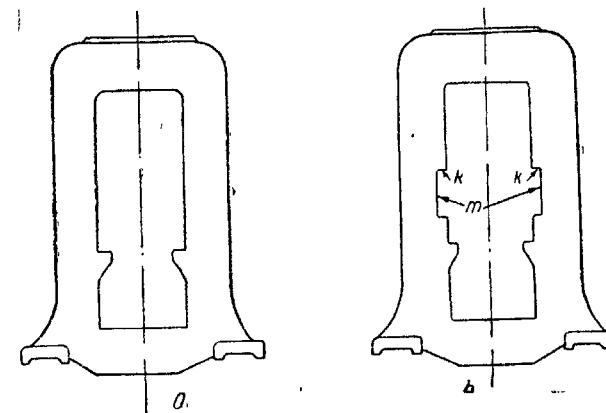
Фиг. 9. Станина без выступов на внутренних сторонах стоек для опоры верхней подушки среднего вала (А. В. Гавриленко)

го типа клетей трио, отличающиеся способом установки подушек среднего вала, а следовательно, и самого среднего вала. Одна конструкция станин показана на фиг. 8, а другая — на фиг. 9. Характерной особенностью конструкции станины, показанной на фиг. 8, является наличие верхних и нижних выступов *a* и *b* на внутренних сторонах стоек станины. У станины же конструкции, показанной на фиг. 9, имеются только нижние и нет верхних выступов.

В станинах конструкции фиг. 8 на верхние выступы *a* опирается снизу верхняя подушка среднего вала, а на нижние выступы *b* — нижняя подушка того же среднего вала. Благодаря наличию этих выступов в игре, получающейся при прохождении штуки через валки, участвуют детали, относящиеся только к

тем валкам, между которыми проходит штука в данный момент. Так, например, если штука проходит между нижним и средним валками, то давление, испытываемое этими валками, не передается деталям (подушкам, подшипникам и др.), относящимся к верхнему валку. Точно также при прохождении штуки между верхним и средним валками давление не передается подушкам, подшипникам и другим деталям, относящимся к нижнему валку.

При станинах же типа, показанного на фиг. 9, верхняя подушка среднего валка, вследствие того, что над ней в станине нет выступов, отделяется от нижней подушки верхнего валка вставками (распорками), помещаемыми между концами подушек



Фиг. 10. Станина клети чистовой линии мелкосортного стана „330“ завода им. Дзержинского:
a—первоначальный вид; *b*—вид после вырезки выемок для опоры верхней подушки среднего вала (в 1936 г.)

(для того, чтобы эти подушки не могли сблизиться). В таких станинах, если штука проходит между нижним и средним валками, давление через верхнюю подушку среднего валка и упомянутые вставки (распорки) передается и деталям, относящимся к верхнему валку, которые поэтому вместе с верхним валком также участвуют в игре, увеличивая ее.

Понятно, что точность прокатки при станинах типа фиг. 9, меньше, чем точность при прокатке на станинах типа фиг. 8.

Интересным примером способа устранения влияния рассматриваемого дефекта у станин мелкосортного стана, конструкции типа фиг. 9, является переделка станин клетей чистовой линии стана „330“ завода им. Дзержинского (в 1936 г.). Первоначальная конструкция этих станин показана на фиг. 10, *a*, конструкция же их после переделки показана на фиг. 10, *b*.

Из этих фигур видно, что для того, чтобы создать упор для верхней подушки среднего вала, поступили очень просто: в вертикальных стойках станин с внутренней стороны прострогали пазы *m*. Одновременно изменили конструкцию верхней подушки среднего вала, удлинив ее настолько, чтобы концы ее, заходя в

пазы m , упирались снизу о места k этих пазов и тем удерживали средний валок от перемещения вверх.

Такая незначительная переделка конструкции станин, уменьшив игру валков, способствовала увеличению точности прокатки. Этому же способствовало и то, что настройка валков упростилась. Подобную переделку станин можно рекомендовать всем заводам, имеющим у себя мелкосортные стани со станинами типа стана „330“ завода им. Дзержинского.

IV. Влияние конструкции отдельных деталей клети

Степень совершенства конструкции отдельных деталей клетей станов имеет большое влияние на точность прокатываемого профиля. Не имея возможности разобрать влияние в этом отношении всех деталей клети стана, рассмотрим некоторые из них.

1. Подшипники валков

Деталями клети, наиболее сильно влияющими на точность прокатной продукции, являются подшипники. Это вполне понятно, так как всякое изменение в подшипниках немедленно отражается на вертикальном (а часто и на горизонтальном) размере прокатываемого профиля. Поэтому на подшипниках остановимся несколько подробнее.

В настоящее время в прокатных станах применяются главным образом подшипники скольжения, которые до последнего времени были или чисто бронзовые или чаще — бронзовые с заливкой баббитом того или другого качества, а в самые последние годы — текстолитовые. Но одновременно в последние годы на прокатных станах начинают распространяться роликовые подшипники. Рассмотрим указанные типы подшипников с точки зрения влияния их на точность размеров прокатной продукции.

a) Бронзовые подшипники

До 1934—1935 г. у нас в Союзе повсеместное распространение имели бронзовые подшипники с заливкой трущихся поверхностей баббитом или чисто бронзовые. Основной недостаток этих подшипников — быстрая срабатываемость их.

При прокатке на бронзовых подшипниках обычным явлением была частая смена их (несколько раз в течение работы валков от перевалки до перевалки, т. е. в течение всего нескольких смен). При плохой же работе, плохом обслуживании стана или при плохом качестве подшипников иногда меняли подшипники каждую смену. При перевалках же валков обычно происходила смена от 30 до 50% и даже больше от всего количества работающих подшипников. Каждая же смена подшипника свидетельствует о его срабатывании, уменьшении толщины.

Обслуживающий стан персонал, как бы опытен он ни был, не может беспрерывно регулировать расстояние между валками

соответственно происходящему изменению толщины подшипников. Поэтому при таких подшипниках поддержка нормального расстояния между валками производится периодически, когда обнаруживается, что вертикальный диаметр или высота прокатываемого профиля выходит за пределы положительных допусков (схема периодического изменения толщины (высоты) прокатываемого профиля в зависимости от срабатывания подшипников показана на фиг. 11).

б) Деревянные подшипники

Применение этих подшипников было вызвано недостатком цветных металлов, необходимых для изготовления бронзовых подшипников.

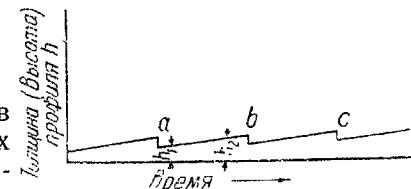
Для этого рода подшипников необходимы: древесные породы особо высокой твердости, как, например, бокаут, надлежащая обработка изготовленных подшипников (вываривание по особому режиму в масле) и надлежащий уход за ними. При соблюдении этих условий можно удовлетворительно работать на деревянных подшипниках в том случае, если прокатная продукция не имеет ответственного, в смысле точности размеров, назначения (прокатка так называемых „торговых сортов“). Но и в этом случае получение продукции требуемой, хотя и невысокой точности размеров, сопровождается повышением процента вторых сортов из-за превышения установленных допусков.

Для получения же прокатной продукции сколько-нибудь удовлетворительной точности и с удовлетворительным выходом первого сорта деревянные подшипники (в особенности из пород меньшей твердости, чем бокаут, как, например, акация и др.), конечно, не годятся: они должны быть заменены текстолитовыми, а при особо высоких требованиях к точности размеров — роликовыми подшипниками.

в) Текстолитовые подшипники

Текстолитовые подшипники в отношении точности размеров прокатной продукции имеют значительное преимущество перед бронзовыми, так как они изнашиваются значительно медленнее бронзовых; кроме того, обслуживание текстолитовых подшипников, почти не требующих особой смазки (кроме обильной подачи на них воды), значительно проще, чем обслуживание бронзовых подшипников. Этими обстоятельствами обусловливается более длительное постоянство настройки валков и, следовательно, большая точность размеров прокатываемого профиля, чем при бронзовых подшипниках.

Большая точность размеров профиля получается, как вообще



Фиг. 11. Схема изменения толщины прокатываемого профиля в зависимости от срабатывания подшипников (a, b, c — моменты регулировки толщины профиля)

у всей прокатной продукции, взятой в целом, так и по длине отдельных полос. Так, например, при введении текстолитовых подшипников на мелкосортном стане одного германского завода в Нейкирхене оказалось, что при прокатке штук длиною в 60—100 м на бронзовых или бокаутовых подшипниках разница в размерах переднего и заднего концов одной и той же штуки получалась 0,2 мм; при текстолитовых же подшипниках эта разница достигала, как максимум, 0,1 мм [12].

Текстолит не является единственной искусственной массой,ющей заменить бронзу для изготовления прокатных подшипников, причем заменить с получением достаточно хорошей точности размеров прокатной продукции: с таким же успехом могут применяться и некоторые другие искусственные массы. Так, например, хорошие результаты в отношении точности прокатки получились при применении так называемых *лигностоновых подшипников*, т. е. подшипников, изготовленных из лигностона, представляющего искусственным образом приготовленную пластифицированную древесину [13].

2) Роликовые подшипники

Для получения точного профиля наиболее пригодными являются стани, оборудованные роликовыми подшипниками. Роликовые подшипники, не давая чрезвычайно продолжительное время сколько-нибудь заметного износа ни в каком направлении, способствуют правильному положению валков, т. е. сохраняют настройку стана в течение неопределенного долгого времени; этим самым достигается соответствующее длительное постоянство профиля. В этом отношении подшипники всех других типов, в том числе и текстолитовые, уступают роликовым подшипникам.

Без роликовых подшипников можно обойтись на крупносортных и отчасти на среднесортных станах, а также на толстолистовых станах, прокатывающих листы значительной толщины, где изменение высоты профиля или толщины листов на 0,1—0,2 мм не имеет большого значения.

Но для тонколистовых станов (непрерывных) для мелкосортных и, особенно, для проволочных станов, а именно, для их последних клетей, роликовые подшипники безусловно нужно предпочесть подшипникам скольжения всякого рода. Это подтверждается практикой прокатостроения последних лет.

Как пример, можно указать на один из самых новых заграничных станов — мелкосортный и проволочный стан, спроектированный фирмой „Демаг“ и пущенный приблизительно в начале 1936 г. У этого стана на клетях непрерывной чистовой группы, а также на чистовой и предчистовой клетях петлевого стана поставлены роликовые подшипники [14].

Непрерывный тонколистовой стан, пущенный в 1938 г. на „Запорожстали“, на всех клетях, кроме клети чернового окалиноломателя, имеет роликовые подшипники.

Без роликовых подшипников нельзя было бы получить ту высокую точность размеров прокатной продукции, которая в

настоящее время достигается на совершенных прецизионных станих (станах особенно высокой точности), о которых будет сказано дальше.

Степень точности размеров профиля, достигаемая на прокатных станах, клети которых оборудованы роликовыми подшипниками, весьма велика. Так, например, на обрученном стане для горячей прокатки фирмы Theodor Wupperthal в Шлебуш-Манфорте (Германия), последние клети которого имеют роликовые подшипники, при прокатке обрученного железа толщиной 0,7 мм у штук длиною от 300 до 400 мм разница в толщине переднего и заднего концов составляет всего лишь 0,02—0,04 мм! [15]. Другие примеры точности профиля, достигаемой при роликовых подшипниках, будут приведены далее.

Иногда представляется возможность перевести на роликовые подшипники уже работающие стани и этим повысить точность размеров выпускаемой ими продукции.

Так, например, на одном проволочном стане в Германии при его реконструкции чистовые клети обычной конструкции были заменены новыми закрытыми конструкциями с роликовыми подшипниками (стан прокатывает круглое \varnothing 5,2—21 мм; диаметр валов 245—275 мм; длина бочек валов — 500 мм). Этим достигли следующей точности: при малых диаметрах продукции и, следовательно, при большой длине штук — по высоте профиля 0,1 мм и по ширине (прокатываются и некруглые профили) — 0,35 мм у переднего конца и 0,2 мм у заднего конца. При больших сечениях проката, т. е. у штук небольшой длины, по высоте профиля +0,05 мм, а по ширине — 0,2 мм у переднего конца и —0,1 мм у заднего.

В табл. 5 приведены данные, относящиеся к мелкосортному и проволочному станам Германского завода Neuenkirchen Eisenwerk.

Эти данные показывают, как изменилась точность продукции стани при прокатке одних и тех же профилей при замене на последних клетях подшипников скольжения (бокаутовых) роликовыми подшипниками.

Таблица 5

Разница высоты профиля переднего и заднего концов полосы (в мм)

Профиль и способ прокатки	Роликовые подшипники	Подшипники скольжения
I. Прокатка в одну нитку		
Сортовая сталь с длиной штуки от 60 до 100 м	0,02—0,07	0,1—0,2
Штропсы с длиной штуки 60 м	0,02—0,03	0,13—0,2
Обручная сталь с длиной штуки от 60 до 70 м	0,02—0,08	0,1—0,2
II. Многониточная прокатка		
Проволока длиной 460 м		
а) из крайних по бочке калибров	0,05—0,06	0,12—0,15
б) из средних по бочке калибров	0,06—0,08	0,15—0,20

В результате замены бокаутовых подшипников роликовыми повысился также и выход годного [16].

Чтобы получить возможно большую точность прокатки при применении роликовых подшипников, требуется самый тщательный уход за ними. В частности, необходимо принятие максимальных мер предосторожности против попадания на них (и на шейки валков) пыли, а также окалины и воды (во время работы). Поэтому на заводах, применяющих роликовые подшипники, последние хранятся под особыми колпаками, и даже иногда установку подшипников на шейки валков производят в особых местах, защищенных от пыли.

Такой уход имеет место, например, у упомянутого выше обрученного стана $\varnothing 280 \text{ мм}$ для прокатки особо длинных полос (до 400 мм), построенного в 1924 г. фирмой Theodor Wupperman в Шлебуш-Манфорте [15].

Недостатками роликовых подшипников является то, что они усложняют конструкцию станин клетей (требуют расширения выемки в станинах для помещения в ней коробок роликовых подшипников), вызывают необходимость шлифовки шеек валков и, наконец, стоят дороже.

В силу этих причин Гипромез при проработке вопроса о выборе типовых конструкций сортовых станов 300 мм и 350 мм выбрал для шеек валков этих станов подшипники скольжения [17]. Вряд ли, однако, этот выбор можно считать верным.

2. Нажимные винты и клинья для изменения положения подушек

На точность прокатки влияют также детали клетей, имеющие винтовую нарезку. К таким деталям относятся, во-первых, нажимной винт и, во-вторых, клинья для регулирования положения подушек. Эти детали при прокатке не должны „сдавать“, а для этого их нужно сконструировать так, чтобы они обладали надежным самоторможением. Последнее достигается выбором достаточно пологого угла наклона нарезки винтов у рассматриваемых установочных деталей.

Требование надежного самоторможения в особенности необходимо соблюдать для тех станов, у которых давление на валки передается толчками. К таким станам относятся быстроходные черновые клети, прокатывающие короткие слитки при значительных обжатиях, а также тонколистовые станы обычной конструкции.

Здесь нужно отметить, что на самоторможение установочных деталей, кроме величины угла наклона винтовых поверхностей, влияет еще и качество смазки. При хорошей смазке у тонколистовых станов, например, у которых прокатка сопровождается частыми ударами в валках, может случиться, что нажимные винты будут „сдавать“ даже в том случае, когда угол наклона винтовой нарезки сравнительно небольшой.

„Сдача“ (или „отдача“) нажимных и других винтов вызывает неточность размеров прокатной продукции, что в некоторых

случаях особенно недопустимо, как, например, при прокатке тонких листов. Кроме того явление „сдачи“ нажимных винтов вызывает расшатывание и быструю разработку их гаек. Поэтому для устранения „отдачи“ винтов прокатных станов их иногда смазывают керосином, который, по сравнению со смазочными материалами высокого качества, дает повышенное трение между винтом и гайкой [18].

Говоря об устройствах для перемещения валков в вертикальном направлении, нужно указать, что большое значение имеет также и та точность, с которой можно регулировать это перемещение. Пределы, в которых заключается точность этого перемещения, весьма велики; приведем крайние примеры. У старых станов обычным способом перемещения нижних или средних валков является установка под подшипники пластинок (подкладок) той или другой толщины; следовательно, точность перемещения этих валков, а значит и точность регулировки толщины прокатываемого профиля, определяется толщиной подкладок, которые обычно не бывают тоньше 0,5 мм.

У современных же станов перемещать валки можно с точностью до 0,01 мм (причем быстро и с большим удобством). Так, например, у клетей тонколистового непрерывного стана „Запорожстали“ изменение положения верхнего валка достигается простым поворачиванием ручек, включающих моторы нажимных винтов клети; при этом можно, по желанию, перемещать или сразу весь валок одновременно (обе шейки валка) или же отдельно ту или другую шейку (если щель между валками у обоих концов не строго одинакова). Для осуществления этого сбоку каждой клети стана имеется по три ручки. Перемещать ту или другую шейку или обе шейки вместе можно с точностью до 0,01 мм, причем через стеклянное продолговатое окошечко в каждый момент можно читать числа, показывающие с точностью до 0,01 мм положение бочки верхнего валка у правой и левой шеек по отношению к бочке нижнего валка¹.

V. Степень совершенства изготовления станин клетей и их деталей и состояние их в течение эксплуатации

Для получения точного профиля необходимо, чтобы не только станины и их детали были рациональной конструкции, но чтобы и изготовление их было возможно более совершенным.

Еще сравнительно недавно на прокатный стан смотрели, как на весьма грубое оборудование, изготовление которого не требует особой точности. Однако точность прокатки невозможна, если изготовление стана не будет достаточно тщательным.

Под тщательностью изготовления стана подразумевается точность размеров всех его деталей и в особенности возможно

¹ Электрическое устройство для осуществления указанных перемещений валка называется „Сельсинами“.

более совершенная ровность поверхностей у станин и их деталей в тех местах, где они соприкасаются друг с другом. Зазоры между станинами и их деталями в том случае, когда они необходимы (например, вертикальные зазоры между станинами и подушками), должны быть возможно минимальные. Нарушение этих требований способствует уменьшению точности настройки валков и увеличению игры валков и тем самым уменьшению точности размеров получаемой продукции. Понятно, что для возможности получения точного профиля необходимо также, чтобы и арматура стана (пропуска, проводки, линейки и пр.) была изготовлена, а также и устанавливалась возможно тщательнее.

Поэтому в настоящее время оборудование прокатных клетей изготавливается с точностью, во много раз превышающей точность изготовления их, имевшую место 25—30 лет назад, не говоря уже о более раннем периоде изготовления станов.

Говоря о значении для получения точных размеров прокатной продукции степени совершенства изготовления клетей прокатных станов и деталей клетей, мы подразумеваем в основном, во-первых, главнейшие части, из которых состоят рабочие клети (станины, подушки и др.), и, во-вторых, ту точность размеров всех частей клети, которая имеется налицо в момент выпуска прокатного оборудования заводом-изготовителем.

Но с какой бы высокой степенью точности размеров ни изготавлялось прокатное оборудование и как бы первоначально тщательно оно ни было собрано, оно в той или иной степени в процессе работы стана изнашивается. Кроме того, на клетях прокатных станов употребляются различные мелкие детали, вроде подшипников, подкладок, клиньшков и т. п., которые играют большую роль при настройке валков и которые обычно изготавливаются в слесарно-механической мастерской или самого прокатного цеха или завода, где работает расходящий эти детали прокатный стан.¹

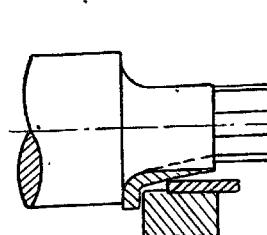
Для точности размеров прокатной продукции важно с какой точностью изготавляются все эти мелкие детали клети, какой надзор имеется за ними во время службы, какие меры принимаются для поддержания вообще всех деталей стана в максимально исправном состоянии и т. п., словом, насколько удовлетворительно, технически культурно производится обслуживание рабочих клетей стана.

Рассмотрим с этой точки зрения некоторые детали, а именно: подшипники обычного типа (т. е. не роликовые), подушки для подшипников, подкладки, клиньшки.

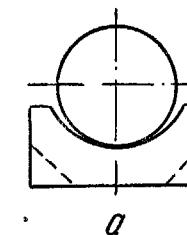
Подшипники. Нужно обращать особое внимание на точность прилегания шеек валков к подшипникам по всей поверхности их, между тем это условие нередко нарушается. При коротких подкладках под подшипники или при вылезании подкладок из-

¹ Что касается подшипников, то сказанное не относится к цельнопрессованным подшипникам (которые изготавливаются специальными заводами, как, например, у нас в Союзе завод „Карболит“) и, конечно, не относится к роликовым подшипникам.

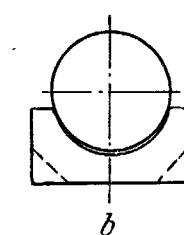
под подшипников получается перекос, что вызывает быстрое срабатывание подшипника с одного конца (фиг. 12). Бывает, что радиус выемки подшипника не соответствует диаметру шейки валка (фиг. 13); это может случиться вообще при неточной обработке шеек или подшипников. Иногда это может случиться



Фиг. 12. Быстрое и неравномерное срабатывание подшипника при короткой или вылезшей из-под подшипника подкладке



Фиг. 13. Несовпадение шейки валка с подшипником, вызывающее быстрое срабатывание подшипника:
а—подшипник расточен больше чем нужно; б—подшипник расточен меньше чем нужно

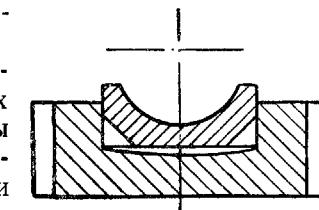


потому, что шейку, у которой во время работы испортилась поверхность, поправляли, т. е. сточили и тем уменьшили ее диаметр; запасные же подшипники все имеют одинаковую выемку, соответствующую нормальному диаметру шеек. В обоих случаях, показанных на фиг. 13, шейка валка быстро срабатывает подшипник.

Само собой понятно, что нередко практикующаяся закладка в клеть валков с испорченными шейками (о чём будет сказано дальше) также вызывает очень быстрое изнашивание подшипников (в течение смены или даже нескольких часов).

Подушки для подшипников. Подшипники должны плотно сидеть в гнездах подушек, поверхности которых должны быть строганными; между тем еще встречаются старые станы, на которых ради экономии применяются подушки с нестроганными поверхностями гнезд. Иногда применяются подушки, у которых поверхность под горизонтальной частью подшипника выработалась (фиг. 14), что может случиться при отсутствии должного надзора за станом, когда шейка валка насквозь срабатывает подшипник и некоторое время работает по телу подушки. При неровной поверхности дна гнезда подушки подшипник под давлением шейки валка деформируется, прогибается, а иногда даже раздавливается.

Если подушки срабатываются с наружных боков, соприкасающихся со станинами, что в особенности бывает при валках, перемещающихся во время работы вверх и вниз (например, верхний и средний валки листопрокатных станов Лаута), то необхо-



Фиг. 14. Подушка с неровной или выработавшейся поверхностью гнезда, что способствует прогибу и раздавливанию подшипника

димо или менять подушки или исправлять сработавшиеся поверхности их. Последнее легко можно делать посредством заварки и прострочки или установки боковых планок на сработавшихся местах (после прострочки).

Подкладки, закладки, клинышки. Необходимо, чтобы всякого рода подкладки, закладки, клинышки и пр., если конструкция клетей требует их применения, имели возможно ровную поверхность. Однако, на эти мелкие детали очень часто не обращают внимания. Так, например, более или менее толстые прокладки под подшипники обыкновенно просто вырезаются из листового железа и имеют не всегда ровную поверхность. Иногда применяют случайные подкладки или клинышки, неровность которых бывает нередко настолько значительна, что она заметна на глаз; в таких случаях вальцовщик тут же у стана на плите пола наскоро кое-как ударами молотка выпрямляет подкладку или клин и ставит под соответствующую деталь стана.

Нередко вместо одной толстой подкладки ставят две или три тонких потому только, что в запасе возле стана не имеется подкладки соответствующей толщины.

Такие подкладки или клинышки в процессе работы постепенно вылезают, расстраивая работу стана. Кроме того, чем больше всякого рода подкладок, клинышков и т. п., тем больше игра валков.

VI. Влияние качества прокатных валков

Непосредственно образуя профиль прокатной продукции, валки оказывают (наряду с подшипниками) громадное влияние на точность размеров этого профиля. Влияние это оказывается разными способами. Отметим некоторые из них.

1. Правильность обточки валков и причины неправильной обточки их

Бочки валков (гладкие или с калибрами) и шейки их должны быть выточены точно по окружности. Между тем иногда это основное требование не выполняется, и валки, выпущенные из вальцетокарного цеха, имеют овальность бочек или шеек или же, вообще, не выточены точно по окружности. Понятно, что валки с неточно выточенными бочками, калибрами или шейками дают профиль, толщина которого периодически меняется по длине каждой штуки соответственно числу оборотов валков.

Такое явление может иметь место как при прокатке всевозможных профилей, так и при прокатке листов. Во всех случаях оно недопустимо. Но в особенности оно недопустимо при прокатке тонких листов, как, например, кровельного железа или листов, идущих на изготовление жести, так как колебания в толщине этих листов даже на 0,1 мм составляют очень заметную величину, принимая во внимание незначительную вообще толщину указанных видов листового проката.

Неправильность обточки валков для прокатки листов, в особенности для тонких листов, может выражаться в том, что бочки валков выточены по неправильной образующей. Как будет сказано дальше при рассмотрении особенности прокатки тонких листов, образующая бочки валков для тонких листов, а иногда также и для средних листов не является строго прямой линией: поверхность бочек валков для прокатки тонких листов большей частью делается вогнутой (а иногда выпуклой). Размер вогнутости (или выпуклости) должен быть очень строго выбран и затем осуществлен при обточке валков, иначе толщина листов по их ширине будет получаться неодинаковой.

Причины неправильной обточки валков. Ограничимся указанием главнейших причин неправильной обточки валков. Неправильная или недостаточно точная обточка валков может происходить по следующим причинам:

- 1) неудовлетворительная устаревшая конструкция вальцетокарных станков (на некоторых заводах есть станки, имеющие 50—60-летний стаж);
- 2) изношенность станков;
- 3) небрежная работа вальцетокаря;
- 4) неодинаковая твердость бочки по всей окружности.

Так, например, если у валка из закаленного чугуна твердость на одной стороне бочки больше чем на другой, то на более твердом участке резец больше отходит от валка, чем на участке меньшей твердости. В результате валок оказывается выточенным не по вполне точной окружности.

Если на валках нарезается несколько одинаковых, одновременно работающих калибров (чистовые валки проволочных станов), то не всегда удается так нарезать калибры, чтобы у всех калибров половинки в верхнем валке точно совпали со своими половинками в нижнем валке: у одного или нескольких калибров может получиться смещение (например, на 0,1 мм), что соответствующим образом отразится на точности продукции, прокатаной на этих валках.

2. Гладкость поверхности валков

Во всех случаях прокатки желательно, чтобы работающие поверхности валков были возможно более гладкими; чем более гладкая поверхность у валков, тем с более ровной, гладкой поверхностью, а следовательно, тем с большей точностью размеров поперечного сечения получается прокатная продукция. Сказанное относится как к поверхности калибров валков для профильной прокатки, так и к поверхности валков для прокатки листов всякой вообще толщины.

Но если для валков при профильном прокате и при прокатке толстых и средних листов это требование является *желательным*, то при прокатке тонких листов, идущих на автостроение, для изготовления жести и пр., оно является *необходимым*, иначе точность размеров (и состояние поверхности листов) по-

лучается неудовлетворительной, так что продукция не сможет быть использована по назначению.

Об этом, а также о способах получения гладкой поверхности валков и о поддерживании гладкости валков во время их работы в станах, будет сказано дальше при рассмотрении особенностей прокатки тонких листов.

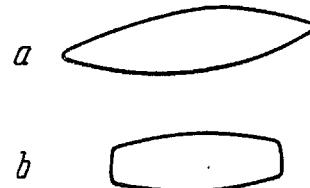
Нужно обратить внимание еще на следующее обстоятельство. Степень гладкости поверхности валков имеет значение не только в том отношении, что она обусловливает соответствующую степень гладкости поверхности получающейся продукции. *При профильной прокатке степень гладкости или шероховатости калибров может сказываться на уширении, а следовательно, и на величине заполнения калибров.* О разнице в заполнении калибров в зависимости от состояния их поверхности можно наглядно судить по фиг. 15, заимствованной у E. Siebel'я и E. Osenberg'a, производивших исследование влияния трения и размеров поперечного сечения прокатываемого профиля на истечение металла при прокатке. При прокатке в овальном калибре свинца сечением 20×20 мм заполнение калибра в случае шероховатой поверхности (фиг. 15, a) было гораздо более значительным, чем в случае гладкой поверхности калибра (фиг. 15, b); удлинение прокатываемой полоски в первом случае $47,8\%$, а во втором — $59,0\%$ [19]. Как видно из этих цифр, разница в удлинении довольно значительная; поэтому и разница в уширении также должна быть значительной.

Как уже сказано, фиг. 15 и цифровые результаты относятся к случаю прокатки свинца; по аналогии нужно заключить, что и при прокатке стали степень гладкости калибра влияет на величину заполнения калибра, а следовательно, и на точность получающегося профиля. Поэтому, чтобы не было колебаний в размерах окончательного профиля, чтобы он получался одинаковой точности, необходимо поверхность калибров поддерживать одинаковой степени гладкости (конечно, максимально гладкой), т. е. не давать калибрам заметно вырабатываться.

3. Материал прокатных валков и твердость их поверхности

Как бы правильно ни были обточены валки или нарезаны на них калибры и какая бы ни была высокая степень гладкости бочек валков или калибров, все-таки одинаково точных размеров прокатной продукции нельзя длительно получать, если поверхность калибров или бочек валков будет быстро срабатывать. Валки с быстро срабатывающейся поверхностью требуют частых перевалок.

Поэтому необходимо, чтобы поверхность валков была воз-



Фиг. 15. Влияние состояния поверхности калибра на заполнение овального калибра свинцом:

a—при шероховатой поверхности;
b—при гладкой поверхности
(E. Siebel и E. Osenberg)

было гораздо более значительным, чем в случае гладкой поверхности калибра (фиг. 15, b); удлинение прокатываемой полоски в первом случае $47,8\%$, а во втором — $59,0\%$ [19]. Как видно из этих цифр, разница в удлинении довольно значительная; поэтому и разница в уширении также должна быть значительной.

можно более твердой, малоизнашивающейся. Твердость же поверхности валков зависит от состава материала валков, а также и от способа изготовления их.

Нужно вообще сказать, что высокое качество прокатной продукции, в частности, высокая точность размеров ее, которые в настоящее время достигаются на заграничных станах для точной прокатки, немыслимы без применения валков с высокой твердостью поверхности. Скажем несколько слов о качестве прокатных валков.

a) Валки из закаленного чугуна

Валки из обыкновенного закаленного чугуна имеют недостаточную твердость (400—500 единиц по Бринеллю или 57—70 единиц по Шору). Значительно более твердыми и дающими лучшие результаты в отношении гладкости поверхности и точности размеров продукции являются распространенные за границей, в особенности в США, валки из легированных чугунов, из каковых наибольшее распространение получили валки типа „ни харт“, содержащие никеля около $4,5\%$ и хрома около $1,5\%$ (при содержании углерода $3,4$ — $3,6\%$). Твердость бочки валков типа „ни-харт“ 600—700 единиц по Бринеллю или 85—100 единиц по Шору.

Как отражается большая твердость валков на стойкости их поверхности при прокатке, видно из следующего примера, сообщаемого А. А. Горшковым. Пара валков из легированного чугуна типа „ни харт“ вышеуказанного состава, служившая для прокатки листов толщиной 1 мм (в четырехвалковой клети), давала от переточки до переточки производительность около 150 т; валки же из обыкновенного закаленного чугуна давали производительность только 150 т [20].

б) Валки из полутвердого чугуна

Эти валки применяются тогда, когда калибры нужно глубоко врезать в тело валка. Если они отливаются из обыкновенного чугуна, то они оказываются совершенно непригодными для новых станов с большой производительностью, как, например, среднесортный стан „500“ Магнитогорского завода. Часовая производительность этого стана на некоторых профилях равна суточной производительности стана „450“ Надеждинского завода. Поэтому на станах, подобных стану „500“ Магнитогорского з. вода, за один и тот же промежуток времени, например, один месяц, потребовалось бы при обычных валках производить в 20—24 раза больше перевалок, чем на стане старого типа, т. е. по несколько перевалок в смену. Поэтому на современных сортовых станах с высокой производительностью за границей употребляются валки из легированного чугуна типа „Адамит“, „Феникс“, „Клозлой“ и др., имеющие высокую стойкость против истирания. Легирующими элементами в этих чугунах являются никель и хром.

При опытах Уральского института металлов по отливке по-

путевых легированных чугунов для стана „500“ Магнитогорского завода оказалось возможным без переточки на одном калиbre отделочных валков прокатать рельсов 18 кг/пог. м до 1000 т! [21].

в) Калиброванные валки из закаленного чугуна

С целью получения закаленной поверхности у калибров, глубоко врезаемых в тело валков, за границей в последнее время применяют валки из закаленного чугуна, отлитые не с ровными бочками, а с калибрами, что, обеспечивая большую твердость поверхности валков, способствует получению прокатной продукции и с более удовлетворительной поверхностью и более точного профиля.

У нас в Союзе опыты по изготовлению калиброванных валков из закаленного чугуна производятся на заводах им. Коминтерна, Лутугинском и др. [22].

4. Частота перевалок

Для получения точного профиля продукции нельзя допускать значительную выработку валков. Между тем по различным причинам нередко работают на валках и тогда, когда поверхность калибров или же (при листовой прокатке) бочек валков выработалась больше чем допустимо. Эти причины могут быть различные (например, нежелание делать перевалку раньше обычного срока).

Если перевалка обычно приурочивается к остановке стана в выходной день, то очень часто стараются доработать до выходного дня, не производя перевалки, хотя валки значительно сработались. Если имеется недостаточный запас валков или вальцетокарная мастерская своевременно не успевает подготовить запас исправленных валков, то эти обстоятельства также побуждают работать на сработавшихся валках. При профильной прокатке нередки случаи, когда значительная выработка чистового калибра обнаруживается в середине смены, однако, продолжают работать до конца смены, чтобы не делать остановки стана в середине смены.

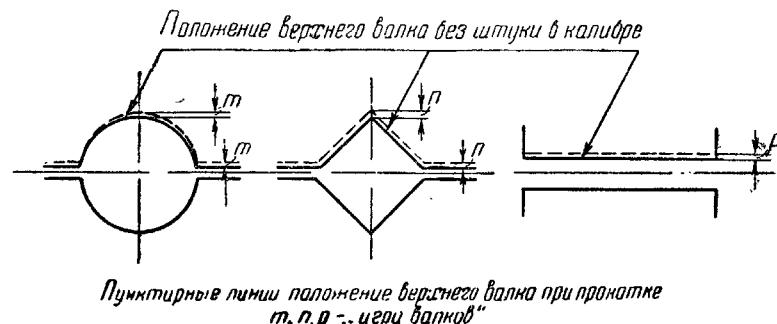
Во всех подобных случаях продукция получается недостаточно удовлетворительной как в отношении поверхности, так и в отношении точности размеров профиля.

VII. Игра валков в стане

Клеть прокатного стана была бы идеальной в смысле возможности прокатки с получением точного профиля, если бы размер каждого калибра в вертикальном направлении (высота калибра) или расстояние между гладкими валками (в случае прокатки листов или полос) оставались при прохождении штуки через валки такими же, какими они были до задачи ее в валки.

Тогда толщина прокатываемого профиля получилась бы точно соответствующей установке валков. Однако в действительности этого никогда не бывает. Не говоря уже о температурных влияниях прокатываемого металла на материал валков, вызывающих разогрев их и расширение, этому мешает так называемая игра валков в стане, о которой уже несколько раз упоминалось.

Под игрою валков, как уже было сказано раньше, подразумеваются изменения зазора между валками, периодически повторяющиеся при каждом прохождении штуки через валки, а именно: увеличение высоты калибра или, вообще, расстояния между валками, когда штука идет через валки, и обратное возвращение к первоначальному расстоянию между валками после выхода штуки из валков (фиг. 16). Эта игра валков оказывает большое влияние на получение точного профиля. Отдельные замечания, касающиеся игры валков, имели место в предыдущем изложении здесь же необходимо рассмотреть ее подробнее.



Фиг. 16. Изменение расстояния между валками при прохождении штуки („игра валков“)

1. Причины игры валков

Игра валков обусловливается в основном двумя причинами: во-первых, изгибом валков под влиянием силы сопротивления деформации прокатываемого металла, и, во-вторых, игрой, происходящей в самих станинах с расположенными в них деталями. Величина игры валков является суммой величины прогиба валков и величины игры в станинах.

а) Изгиб валков

При профильной прокатке изгиб валков в большинстве случаев не оказывает заметного влияния на точность прокатки. Только в некоторых случаях, при получении сортового проката с высокой точностью размеров, желая уменьшить величину изгиба валков, применяют на чистовых клетях валки с возможно меньшей длиной бочек, например, 300 мм. Но изгиб валков имеет большое значение при прокатке тонких листов, поэтому он будет рассмотрен при разборе особенностей прокатки тонких листов.

Что же касается второй составляющей, т. е. игры, происходящей в станинах с их деталями, то она имеет место в клетях всех вообще прокатных станов.

б) Игра в станинах

Причин игры в станинах несколько; рассмотрим их.

Игра верхнего валка (самого валка). Чтобы избежать нагрева шеек, валок не зажимают слишком сильно нажимными винтами, вследствие чего между нарезкой нажимного винта и нарезкой гайки, в которой винт вращается, получается некоторый, пусть даже очень незначительный, зазор или слабина. Кроме того, некоторая слабина может быть между гайкой нажимного винта и горизонтальными стенками гнезда станины, в которое вставлена гайка. Когда штука проходит в валках, то нарезка нажимного винта прижимается к нарезке гайки, а сама гайка прижимается к горизонтальным стенкам гнезда станины, отчего получается некоторое перемещение верхнего валка в вертикальном направлении, т. е. игра валков. От постоянных повторений этого явления, а также и вследствие частого поворачивания нажимного винта, соприкасающиеся поверхности последнего, его гайки и станины разрабатываются, отчего игра еще больше увеличивается. Значительная же игра валков способствует развинчиванию нажимных винтов или самопроизвольной "отдаче" винтов; вследствие этого вальцовщику приходится часто поджимать нажимные винты.

Мы говорили здесь об игре верхнего валка, потому что нижний валок у большинства станов не перемещается. Но в тех случаях, когда положение нижнего валка может регулироваться (например, нажимными винтами или горизонтальными клиньями), то и он, конечно, тоже имеет игру, аналогичную игре верхнего валка.

Несовершенство прилегания друг к другу и к поверхностям станин различных деталей, находящихся в станинах. Различные детали, находящиеся в станинах, а именно: клинья и чеки в отверстиях болтов, скрепляющих крышки станин со стойками (у клетей открытого типа), подшипники, подушки, различные прокладки между подшипниками и другие детали, будучи вместе собраны в станине, не образуют вполне жесткое, цельное тело: между их поверхностями соприкосновения всегда есть некоторая слабина, зазоры. Поэтому при прохождении в валках штуки все зазоры между соприкасающимися поверхностями уменьшаются, и валки расходятся на некоторую величину.

Игра валков, вызываемая этой причиной, усиливается, если, как это очень часто бывает, соприкасающиеся поверхности загрязнены пылью, смазкой и т. п.

Упругая деформация станин и деталей, находящихся в них. Посколько станины и детали, помещающиеся в них, не абсолютно твердые и жесткие, то при прохождении

штуки в валках они в зависимости от рода напряжений, возникающих в них, или упруго сжимаются или растягиваются. Главнейшие и обычные деформации по этой причине следующие: растяжение самих станин, т. е. их вертикальных частей (стойек); растяжение болтов, соединяющих крышки станин со стойками (у станин открытого типа); сжатие чек в отверстиях только что названных болтов; сжатие нажимных винтов; сжатие подшипников и подушек, в которых помещаются подшипники; сжатие шеек валков и др.

2. Величина игры валков

а) Факторы, влияющие на величину игры валков

Как величина прогиба валков, так и величина их игры, обусловливаемая деформацией станин и деталей, расположенных в них, зависят, во-первых, от величины силы сопротивления деформации прокатываемого металла, т. е. от величины давления металла на валки, и, во-вторых, от материала, из которого изготовлены валки, станины и другие части клети (чугун, сталь). Кроме того, большое влияние на величину игры валков оказывает степень совершенства прилегания друг к другу соприкасающихся поверхностей деталей, а также количество соприкасающихся поверхностей.

Влияние величины силы сопротивления деформации прокатываемого металла обусловливается, во-первых, родом прокатываемого металла (мягкое железо или твердая сталь), и, во-вторых, температурой его. Температура металла оказывает громадное влияние на точность размеров получающейся продукции.

Различные материалы, имея различную величину модуля упругости, обусловливают различную величину игры валков, вызываемую растяжением, сжатием или изгибом соответствующих частей. Так, например, у станин, сделанных из стали, имеющей модуль упругости приблизительно в два раза больший, чем у чугуна, величина растяжения будет в два раза меньше, чем станин, сделанных из чугуна.

Степень совершенства прилегания друг к другу соприкасающихся поверхностей деталей в станинах зависит, во-первых, от степени совершенства обработки этих поверхностей, и, во-вторых, от того, с какой силой зажаты или прижаты детали друг к другу или к станинам (гайками, клиньями, чеками).

Чем ровнее обработаны соприкасающиеся поверхности деталей станин, тем плотнее прилегают они друг к другу, тем, следовательно, меньшей получается игра валков. Поэтому у современных станов, детали которых обрабатываются с большой тщательностью, игра валков меньше, чем у станов, построенных несколько десятков лет назад.

Сила, с которой во время работы прижаты друг к другу детали клети, зависит, во-первых, от силы, с которой они были первоначально зажаты, и, во-вторых, от того, насколько своеенно временно в дальнейшем во время работы валков производится

подтягивание ослабевших мест. Тщательное наблюдение за этой стороной работы клети играет большую роль.

Само собой понятно, что чем меньше число соприкасающихся поверхностей, тем меньше при прочих одинаковых условиях будет игра валков. Наличие большого количества разных подкладок, клиньшков, как уже было сказано раньше, увеличивает игру валков, отрицательно влияя на точность прокатки.

б) Размер величины игры валков

Размер величины игры валков, происходящий от двух первых рассмотренных причин (игры верхнего валка вследствие неплотности прилегания нажимного винта к гайке и гайки к станине, и от несовершенства прилегания друг к другу и к станинам всех остальных деталей, находящихся в станинах), трудно поддается определению расчетным путем. Это объясняется тем, что игра у каждого стана зависит от многих, только к данному стану относящихся факторов: точности обработки соприкасающихся поверхностей деталей, степени зажатия деталей нажимными винтами или клиньями и пр. Величина же игры, вызываемой упругой деформацией станин с их деталями, а также изгибом валков, может быть вычислена (для некоторого среднего давления, возникающего при прохождении штуки в валках).

О величине игры валков можно судить по нижеследующим цифрам, полученным расчетным путем и относящимся к стану для прокатки жести (валки с $\varnothing 560 \text{ мм}$ и длиной бочки 760 мм). Сумма смещений осей верхнего и нижнего валков вследствие упругих деформаций сжатия нажимных винтов, подушек, предохранительных стаканов и пр. и упругой деформации растяжения станин была равна $0,10 \text{ мм}$; общая стрела прогиба верхнего и нижнего валков — $0,32 \text{ мм}$. Итого расстояние между валками по средине их бочек при прохождении между ними листа может увеличиваться на $0,10 + 0,32 = 0,42 \text{ мм}$. Как видим, эта величина довольно значительная.

При определении величины растяжения между валками станины того же стана при прохождении листа между валками путем измерения ее удлинения экстензиометром получились цифры, заключавшиеся в пределах от $0,051$ до $0,153 \text{ мм}$ [1].

Проф. В. Тринкс указывает, что для больших обжатий приблизительно считают, что общая игра валков (самых валков и всех деталей в станинах) равна приблизительно одному проценту (или немного меньше) от диаметра валков. При этом, конечно, подразумевается, что с увеличением диаметра валков пропорционально увеличивается и длина их и давление на валки, словом, имеет место „принцип геометрически подобных условий“ [23].

(Пример определения величины игры под влиянием упругих деформаций деталей клети с указанием величины деформаций отдельных деталей будет приведен дальше при рассмотрении влияния конструкций клетей на точность размеров профиля (в разделе „Прецизионные станы“)).

3. Вред от игры валков

На первый взгляд может казаться, что не должно быть особого вреда от игры валков для точности размеров прокатной продукции. Может казаться, что если заранее учитывать величину игры валков, и при установке сближать валки соответствующим образом, то при прохождении штук валки будут расходиться на предусмотренную величину (определенную опытом), и штука будет получаться требуемой толщины.

Но это далеко не так. Только в некоторых случаях игра валков не отражается заметно на точности размеров прокатной продукции; сюда относятся, например, случаи прокатки толстого полосового железа на коротких гладких валках. В большинстве же случаев игра валков сильнейшим образом препятствует получению точных размеров и, в первую очередь, правильной толщины (высоты) профиля.

Игра валков отрицательно сказывается на точности размеров прокатной продукции в следующих случаях:

1. Когда через одни и те же валки одновременно может прокатываться разное количество штук, как, например, на чистовых клетях проволочных станов.

2. В тех случаях, когда на валках одной и той же клети расположено несколько разных калибров, и прокатка ведется таким образом, что одновременно через эти валки пропускается только одна штука, все же наличие игры валков может препятствовать получению точного профиля. Это будет иметь место, если на одних и тех же валках будут рядом размещены калибры один с сильным, а другой со слабым обжатием. Тогда, чтобы компенсировать сильное расхождение валков при прохождении штуки через первый калибр (с сильным обжатием), валки при установке должны значительно сближаться; но это сближение будет слишком большим при прохождении штуки через второй калибр со слабым обжатием.

3. При прокатке тонких листов (листы для жести) игра валков не позволяет прокатывать в одиночку тонкие листы и заставляет прибегать к складыванию их по несколько штук.

4. Во всех случаях прокатки при наличии возможности игры валков колебания температуры прокатываемого металла отражаются на толщине (высоте) получающейся продукции.

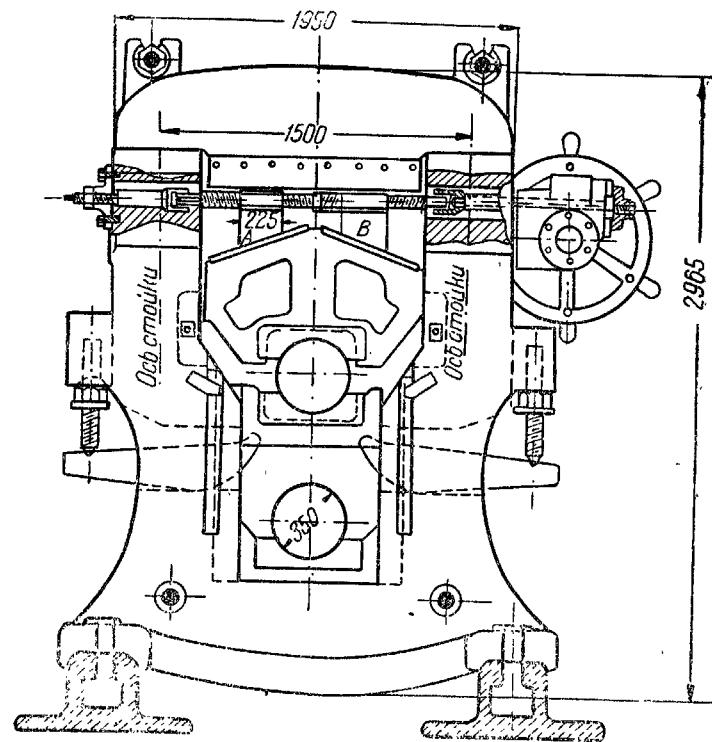
VIII. Прецизионные станы

Для выпуска прокатной продукции повышенной точности размеров необходимо, чтобы сам прокатный стан и в особенности его последняя чистовая клеть были в состоянии обеспечить соответствующую точность. Для этой цели клети обычной конструкции, даже при тщательном изготовлении их, мало подходят. В таких случаях применяются прокатные станы, клети которых специально конструируются для возможности получения продукции с точностью, значительно превышающей обыч-

ную точность прокатки. Такие стани в США называются *прецзионными*.

1. Клеть конструкции М. Ру и величина игры валков в ней

М. Ру (M. Roux) во Франции еще перед 1928 г. сконструировал клеть для стана дуо 650 мм, могущую давать продукцию



Фиг. 17. Клеть дуо стана 650 мм закрытого типа конструкции М. Ру (M. Roux), с клиньями вместо нажимных винтов, дающая незначительную игру валков (M. Ру)

с особо высокой точностью толщины. Конструируя свою клеть, М. Ру прежде всего стремился максимально уменьшить игру валков, как главную причину неточности.

М. Ру исходил из принципа, что игра валков будет тем меньше, чем меньше станина имеет деталей, подвергающихся упругой деформации, в особенности деталей небольшого сечения. При этом условии соприкасающихся поверхностей, между которыми при прохождении штуки происходит уменьшение зазоров, тоже будет меньше.

Клеть, сконструированная М. Ру, показана на фиг. 17. Характерной особенностью станины конструкции М. Ру (закрытого типа) является отсутствие нажимного винта; вместо нажим-

ного винта на верхнюю подушку действуют два клина А и В с гайками из бронзы, симметрично перемещающиеся на горизонтальном винте, имеющем правую и левую нарезку.

Кроме этих клиньев имеются подушки для подшипников: верхняя и нижняя подушка для верхнего вала и нижняя подушка для нижнего вала. Материал станин — сталь.

Материалом для станины выбрана сталь потому, что модуль упругости у стали приблизительно в два раза больше, чем у чугуна, вследствие чего при прочих одинаковых условиях упругая деформация стальных станин получается приблизительно в два раза меньше, чем деформация чугунных.

Чтобы показать, какое получается уменьшение игры валков, обусловленное игрой в станинах при прокатке в клети со станинами конструкции М. Ру (фиг. 17) по сравнению с прокаткой в клети обычной конструкции (фиг. 18), приведем произведенный М. Ру подсчет деформации отдельных деталей в станинах обеих конструкций и затем сравним полученные результаты.

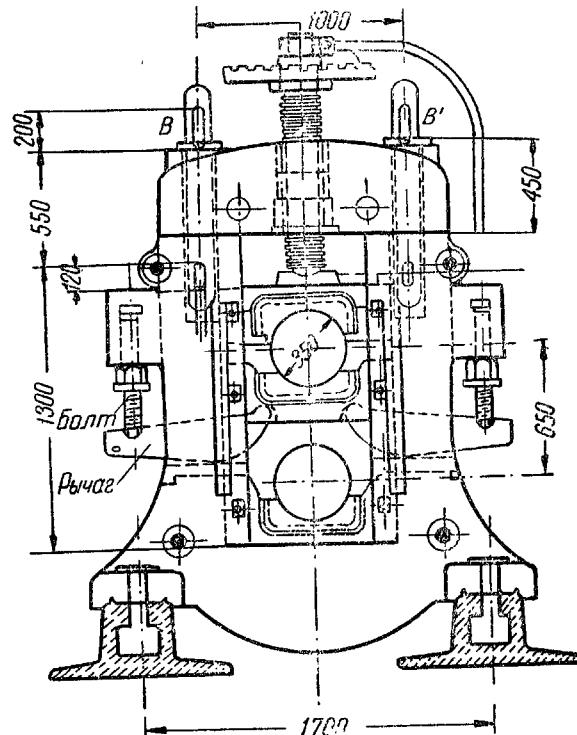
(Станины сравниваемых клетей хотя не вполне совпадают по своим размерам, однако весьма приближаются друг к другу). Принимаем:

Растяжение, сжатие, изгиб для стали (E)	$= 20000 \text{ кг}/\text{мм}^2$
Растяжение для чугуна (E)	$= 8000$ "
Изгиб для чугуна	$= 10000$ "
Сила от давления валков, передающаяся станине	$= 100 \text{ т}$

Растяжение или сжатие в мм определяется по формуле:

$$a = \frac{P}{S} \cdot \frac{l}{E}, \quad (1)$$

где P — нагрузка в кг ,
 l — длина тела в мм ,



Фиг. 18. Клеть дуо стана 650 мм открытого типа обычной конструкции, дающая обычную точность при прокатке (M. Ру)

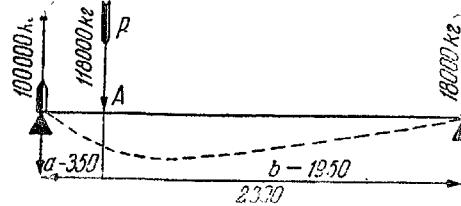
S — площадь поперечного сечения в мм^2 и
 E — модуль упругости материала.

Стрела прогиба крышки в мм (у станины открытого типа) определяется по формуле:

$$f = \frac{P \cdot l}{48 EI} \quad (2)$$

где I — момент инерции, а P , l и E имеют те же значения, что и в формуле (1).

Момент инерции для крышки с поперечным сечением $200 \times 450 \text{ мм}$ у станины открытого типа равен:



Фиг. 19. Схема действия сил на валок при прокатке (M. Ру)

сравнительные величины игры валков, обусловленные упругой деформацией станин с их деталями.

Примечание к таблице 6.

1. Материал станины по фиг. 18 — чугун, станины по фиг. 17 — сталь.

2. У верхней (горизонтальной) части станины по фиг. 17 момент инерции вдвое больше, чем у крышки станины по фиг. 18, так как верхняя часть первой станины не ослаблена отверстием для нажимного винта (303750000 мм^4 вместо 1518750000 мм^4).

3. М. Ру не приводит подсчета удлинения стоек станины для станины фиг. 17.

4. В станине по фиг. 17 каждый клин имеет сечение $310 \times 225 \text{ мм}$ и среднюю высоту 300 мм .

Таким образом упругая деформация станин и их частей у станины конструкции М. Ру почти в 10 раз меньше, чем у станины обычной конструкции открытого типа. Однако, чтобы вывести заключение, насколько при этом может быть меньше игра валков, нужно принять во внимание еще и изгиб их, который при одинаковых валках не зависит от типа станины.

М. Ру приводит подсчет игры валков (с учетом изгиба валков) для случая прокатки сутунки в клети дуо на стальных валках с диаметром бочки 650 мм при длине бочки 2000 мм (длина шеек 300 мм) при прохождении сутунки в калибре, ближайшем к одной из станин.

При давлении в калибре в 118 т по схеме фиг. 19, соответствующем нормальному давлению при прокатке, стрела прогиба стального валка равна 0,045 мм , а общая стрела прогиба двух валков — 0,09 мм .

Перемещение верхнего валка от деформации станин, в которых он находится, для точки А, являющейся серединой калибра (фиг. 19), определяется следующим образом:

Таблица 6

Сравнительная величина деформации станины и ее деталей разных конструкций (при давлении от валков в 100 т)

Название частей, подвергающихся деформации, с указанием вида деформации	Станина обычной конструкции по фиг. 17		Станина конструкции М. Ру по фиг. 17		Величина упругой деформации, мм
	Формула	Численное выражение	Формула	Численное выражение	
Изгиб крышки	$\frac{P l}{48 EI}$	$\frac{100000 \times 1000^3}{48 \times 10000 \times 151875000}$	0,137	$\frac{4}{27} \cdot \frac{P l}{48 EI} \cdot \frac{4}{27} \times \frac{100000 \times 1500^3}{48 \times 20000 \times 3037500000}$	0,017
Удлинение стоек станины	$\frac{P l}{S \cdot E}$	$\frac{50000}{400 \times 300} \times 1300$	0,068	$\frac{P l}{S \cdot E}$	—
Сжатие нажимного винта	То же	$\frac{100000}{\pi \times 140^2} \times \frac{400}{20000}$	0,130	—	—
Растяжение болтов между отверстиями для чек	То же	$\frac{50000}{\pi \times 140^2} \times \frac{550}{20000}$	0,122	—	—
Растяжение болтов в отверстиях для чек	То же	$\frac{50000}{\pi \times 120^2} \times \frac{120+200}{35 \times 20000}$	0,112	—	—
Сжатие чек	То же	$\frac{50000}{120 \times 35} \times \frac{120+200}{20000}$	0,190	$\frac{P l}{S \cdot E}$	—
Сжатие клиньев	Всего	—	—	$\frac{100000}{2 \times 310 \times 225} \times \frac{300}{20000}$	0,011
					0,079

1. Клеть обычного типа с крышкой, укрепляемой болтами с чеками (фиг. 18).

Станина, ближайшая к рассматриваемому калибру, поддается, как это было указано раньше, под давлением в 100 т на 0,759 мм. Противоположная станина, испытывающая давление 18 т, поддается на $0,759 \times 0,18 = 0,137$ мм. Следовательно, в точке А (фиг. 19) перемещение верхнего валка будет равно

$$0,137 + \frac{1950}{2300} \times (0,759 - 0,137) = 0,664 \text{ мм.}$$

2. Клеть конструкции М. Ру (фиг. 17).

При тех же условиях ближайшая к калибру станина поддается на 0,079 мм (как это было указано раньше), и противоположная станина на $0,079 \times 0,18 = 0,0142$ мм.

Перемещение верхнего валка в точке А будет равно:

$$0,0142 + \frac{1950}{2300} \times (0,079 - 0,0142) = 0,069 \text{ мм.}$$

Приведенные величины вместе с прогибом двух валков дают: для прокатки в клети обычного типа: $0,664 + 0,090 = 0,754$ мм; для прокатки в клети конструкции М. Ру: $0,069 + 0,020 = 0,159$ мм.

Таким образом игра валков в последнем случае получается почти в пять раз меньше, чем в первом случае [2].

2. Современные прецизионные станы

Описанная клеть для точной прокатки конструкции М. Ру была предложена более 10 лет назад (около 1928 г.). Большим недостатком этой клети в отношении точности продукции является наличие подшипников обычной конструкции (скольжения). Другим недостатком ее является наличие рычагов и болтов (упирающихся в выступы станин), так как эти детали способствуют увеличению игры валков.

С того времени станы для прокатки с повышенной точностью (прецизионные станы) значительно усовершенствовались, причем ведущую роль в этом деле занимает США.

a) Характерные особенности современных прецизионных станов

В США сначала совершенствовались станы для прокатки широких лент и полос. Среди станов этого назначения наиболее пригодными для получения продукции с высокой точностью размеров оказались получившие широкое распространение станы с клетями квартро (четырехвалковые), у которых рабочие валки опираются на опорные валки большого диаметра. Станы квартро применяются также и для точной прокатки тонких листов. При прокатке широких лент на станах с клетями квартро разница в толщине поперечного сечения у кромок и посередине может достигать всего 0,05 мм [24].

Сортовые станы стали совершенствоваться в отношении повышения точности размеров выпускаемой ими продукции позже, когда потребовалось массовое производство автомобильных пружин круглого профиля. Круглая сталь, прокатанная с обычными допусками, оказалась малопригодной для этой цели, так как большие допуски требовали дорогостоящего последующего волочения.

Применение клетей системы квартро является одним из важнейших факторов, способствующих превращению прокатных станов в прецизионные.

Другим фактором явилась замена подшипников скольжения роликовыми подшипниками, в частности, коническими роликовыми подшипниками весьма высокого качества, одной из особенностей которых является то, что при прокатке они не дают повышения температуры шеек. Повышение же температуры шеек, в особенности колебания этой температуры, является одной из причин колебания толщины профиля.

Этого рода подшипники играют громадную роль в деле получения точных размеров профиля. Благодаря коническим роликовым подшипникам отпадает надобность в частой настройке валков, так как она держится неопределенно долгое время, а сама настройка оказывается более легкой.

Подшипник каждой шейки помещается в своей подшипниковой коробке, образуя таким образом с ним комплектную единицу, легко надвигаемую на шейку валка. Отметим также, что особенностью прецизионных станов являются приспособления, которые позволяют устанавливать валки с мельчайшей градацией, притом в минимальное время и без применения каких-либо подкладок, которые употребляются при обыкновенных подшипниках. Вследствие этого вальцовщику после настройки стана остается только следить за износом калибров.

Особенностью клетей прецизионных станов является также значительная жесткость их станин, обусловливающая минимальную деформацию их во время прохождения штук через валки.

б) Некоторые современные прецизионные станы

(Описание заимствовано у S. Weckstein'a [5].)

Прецизионная клеть трио сортового стана. Отметим некоторые характерные черты этой клети. Нижний валок имеет расположенный внизу нажимной винт для точной установки. Все подшипники роликовые и одинаковые, за исключением подшипника свободного конца среднего валка. Подшипниковые коробки среднего валка располагаются на выступах станины и закрепляются клиньями под крышкой станины. С одного конца валка подшипниковая коробка закреплена, а с другого — подвижная, что делается для возможности компенсации расширения валков, а также и для облегчения настройки валков. При цилиндрических шейках подшипниковые коробки вместе с подшипниками надеваются на шейки, нагревая коробки в масле до темпера-

туры около 150° , после чего надевается запорная гайка. Снятие подшипниковых коробок (с подшипниками) производится посредством давления прессом или вытаскивателем особой конструкции. Если желательно подшипники менять быстрее, то шейки валков прецизионных станов делаются коническими; тогда снятие и надевание подшипниковых коробок с подшипниками производится при помощи ударов молотка. Устройства для поднятия и опускания нижнего или верхнего валков позволяют делать это с чрезвычайной точностью, а именно до $0,0075 \text{ мм}$.

Прецизионная клеть для шестиклетевого стана (бельгийского типа), пущенного в июле 1934 г. компанией Морган Констракшн К° Уоргестер, Масс.

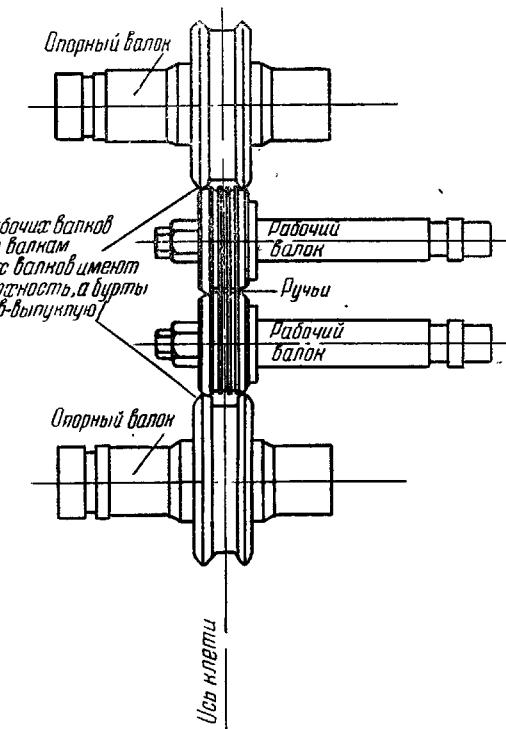
Эта клеть имеет рядом с горизонтальными чистовыми валками еще пару приводных вертикальных валков. Если из чистового калибра полоса, например, круглого профиля выходит на несколько сотых миллиметра полнее, чем требуется, то указанные вертикальные валки, сдавливая штуку, легко уничтожают эту разницу. (Вертикальные валки смонтированы в той же клети, что и горизонтальные, и легко регулируются). Проводками, даже тесно установленными, нельзя держать сечение близкое к круглому в такой степени, как это достигается вертикальными валками. Вертикальные валки должны стоять возможно ближе к горизонтальным, чтобы штука не сворачивалась. Оси калибров в тех и других валках должны совпадать. Клеть — закрытого типа. Нижний валок устанавливается горизонтальным клином. Особое внимание уделено конструкции приспособления для опускания нижнего валка; этим приспособлением одновременно компенсируется неизбежно имеющая место слабина в местах соединения шпинделей с муфтами. Это обстоятельство важно потому, что при слабине в указанных местах при всяком ускорении или замедлении вращения нижнего валка по сравнению с верхним, вследствие мертвого хода в муфтах приводных шпинделей, может получаться отклонение выходящего из горизонтальных валков конца штуки, а это вызывает затруднение или даже невозможность ввода указанного конца в вертикальные валки.

Горизонтальные валки работают на особо тщательно обработанных подшипниках Майкарта или Маргойль (с масляной пленкой от принудительной смазки) Вертикальные валки могут регулироваться как в горизонтальном, так и в вертикальном направлениях, смотря по положению калибра в горизонтальных валках.

На стане с такими клетями сталь $\varnothing 18 \text{ мм}$ (пружинная, кремнистая) прокатывается с точностью $\pm 0,05 \text{ мм}$ и даже выше [5].

Описанная прецизионная клеть с вертикальными валками имеет то неудобство, что вследствие необходимости устанавливать близко друг к другу горизонтальные и вертикальные валки получаются затруднения (из-за недостатка места) в установке выводных проводок из горизонтальных валков и вводных про-

водок для вертикальных валков. Вытаскивание штук, застрявших при неполадках в этом пространстве, очень затруднительно. Неудобством является и то, что вальцовщику неудобно наблюдать за профилем, выходящим из горизонтальных валков. Поэтому фирма, установившая этот стан в 1934 г., сконструировала прецизионную клеть другой конструкции (для круглых профилей), в которых вертикальные валки смонтированы в маленькой добавочной клети, присоединенной к основной клети.



Фиг. 20. Валки клети системы Вортингтона (W. Worthington'a) прецизионного стана для горячей прокатки сортовых профилей (S. Weckstein)

(с горизонтальными валками) посредством шарниров с роликовыми подшипниками таким образом, что вся добавочная клеть с вертикальными валками и приводом к ней легко может отодвигаться в сторону. В рабочем состоянии добавочная клеть скрепляется с основной клетью клиньями. При таком устройстве указанные выше затруднения устраняются. Кроме того, если нужно настроить вертикальные валки, то добавочную клеть отводят в сторону, а на горизонтальных валках катят торговые сорта.

Прецизионная клеть кварты системы Вортингтона. Из клетей новейших конструкций станов для прецизионной прокатки отметим клеть совершенно особой конструкции, а именно, си-

стемы Вортигтона (W. Worthington'a). Эта клеть системы кварто (два рабочих валка и два опорных). Подшипники рабочих валков роликовые. Валки для возможно большей жесткости — очень короткие. Расположение валков этой клети показано на фиг. 20.

Особенностью этой клети является самоцентрировка ее рабочих валков давлением, возникающим при прокатке, вследствие того, что на концах бочек бурты рабочих валков имеют выпуклости, а бурты опорных валков — соответствующие вогнутости; в силу этого смещение рабочих валков невозможно [24].

Прецизионные станины очень пригодны для прокатки тонких полос особо повышенной точности (начиная с толщины 1,25—1,5 мм); но они годятся также и для прокатки сортовых профилей, от которых требуется особо повышенная точность (например, круглое для автомобильных пружин).

Точность прокатки на таких станах получается чрезвычайно высокая. (При этом нужно принять во внимание, что прокатка ведется в горячем состоянии, а не в холодном).

Так, например, у широких полос разница размеров по средине и у краев достигает всего 0,05 мм! (24).

Б. ВЛИЯНИЕ НА ТОЧНОСТЬ ПРОКАТКИ ФАКТОРОВ, ОТНОСЯЩИХСЯ К ПРОЦЕССУ ПРОКАТКИ

I. Калибровка и расположение калибров

Влияние калибровки (рассматриваемой в широком смысле) на точность прокатки довольно разнообразно.

Чтобы получить точный профиль, калибровка должна прежде всего быть правильной. Без правильной калибровки нельзя, конечно, получить не только точный профиль, но вообще нельзя получить профиль сколько-нибудь правильный по очертанию. Но понятие „правильная калибровка“, конечно, условное, и один и тот же профиль можно правильно скалибровать по разному. Однако, та или другая калибровка, давая возможность получить в известном смысле правильный профиль, может обуславливать разную степень точности этого профиля. В этом отношении играют роль различные обстоятельства: система калибровки, взятая в целом; общее число калибров, проходимое штукой; конфигурация отдельных калибров; число калибров, размещаемых на одних и тех же валках для одновременной прокатки; давление в отдельных калибрах и пр.

1. Влияние системы калибровки

Для иллюстрации влияния системы калибровки на точность прокатки приведем результаты исследований, произведенных работниками Уральского института металлов над прокаткой по разным системам калибровки круглого диаметром 16 мм на мелкосортном стане Чусовского завода.

Для прокатки этого профиля последние 5 калибров были нарезаны по четырем системам калибровки: 1) обычная калибровка квадрат-овал-квадрат-овал-круг; 2) калибровка квадрат-полоска¹-овал-овал-круг („универсальная“ калибровка по терминологии авторов исследования); 3) калибровка квадрат-овал-круг-овал-круг; 4) калибровка квадрат овал-овал-овал-круг. Прокатка производилась в совершенно одинаковых условиях, и исследование производилось над большим количеством материала.

Оказалось, что наибольшую точность профиля в смысле минимальной разности диаметров по вертикальному и горизонталь-

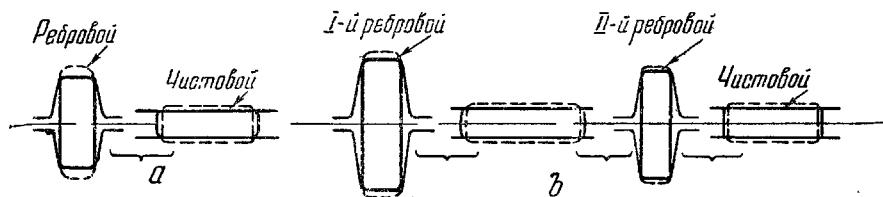
¹ В гладких валках.

ному направлению имели прутки, прокатанные по системе овал-круг-oval, а именно, эта разность в среднем равнялась 0,07 мм; близкую точность имели прутки, прокатанные по системе овал-oval-круг; универсальная калибровка дала среднюю точность — 0,26 мм; наконец, наименьшую точность имели прутки, прокатанные по наиболее распространенной в настоящее время калибровке квадрат-овал-круг, а именно, овальность была в среднем — 0,9 мм [25].

Приведенные данные объясняют, почему в последнее время для тех случаев, когда требуется точный профиль круглого (а также и хорошая поверхность его), прокатку круглого все чаще и чаще ведут по калибровке системы овал-круг-oval-круг.

2. Влияние общего числа калибров, через которые прокатывается полоса

Один и тот же профиль можно скалибровать и прокатывать в разное число калибров. Большое число калибров облегчает получение правильного и точного по размерам профиля. Однако,



Фиг. 21. Прокатка полосовых профилей:
а—с одним ребровым калибром (меньшая правильность кромок профиля); б—с двумя ребровыми калибрами (большая правильность профиля)

оно сопряжено с удлинением времени прокатки, что понижает температуру прокатываемого металла, снижает производительность и пр. Поэтому в каждом отдельном случае необходимо решать, чего важнее достичь: большей ли точности профиля или же большей производительности.

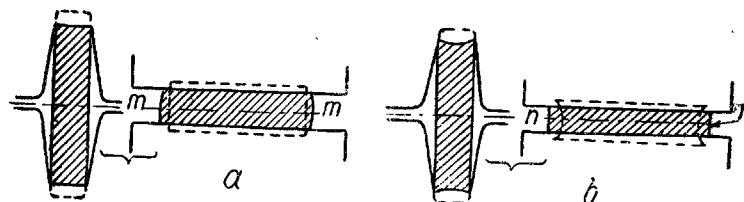
В качестве примера влияния числа калибров на точность профиля возьмем прокатку полосовых профилей в гладких валах с пропуском в „ребровом“ калибре. Очень часто по вышеуказанным причинам ограничиваются пропуском полосы только в одном предчистовом „ребровом“ калибре (фиг. 21, а); в этом случае трудно получить окончательный профиль вполне правильным, т. е. с прямыми боковыми гранями с острыми кромками; наоборот, боковые грани в этом случае часто получаются выпуклыми. Если же хотят получать более правильный, более точный профиль полосы, то прокатку ведут с двумя „ребровыми“ калибрами (фиг. 21, б).

3. Конфигурация отдельных калибров

На приведенном выше примере прокатки круглых профилей по разным системам калибровки было показано влияние на точ-

ность профиля системы калибровки. Но выбрав ту или другую систему калибровки, можно в пределах ее влиять на точность профиля продукции еще и выбором конфигурации отдельных калибров. Влияние конфигурации отдельных калибров можно показать на следующих примерах.

Окончательный профиль таких, например, очертаний, как круглое и квадратное, получается тем точнее, чем ближе к чистовому профилю делаются очертания предчистового калибра, т. е. чем полнее (выпуклее) овал при прокатке круглого или чем больше приближается ромб к квадрату при прокатке квадратного. Поскольку такое приближение сопряжено с уменьшением устойчивости овала или ромба при задаче их в чистовой калибр, а следовательно, и с увеличением трудности работы (так как нужно более тесно держать вводные проводки), то и здесь, смотря по обстоятельствам, приходится решать, что важнее: получение ли большей точности размеров или же получение большей производительности.



Фиг. 22. Влияние очертания дна ребрового калибра на правильность полосового профиля:
а—ровное дно способствует выпуклости боковых кромок; б—выпуклое дно способствует получению ровных боковых кромок

Выше было указано, что при прокатке полосовых профилей боковые грани полосы получаются более точными (более прямыми), если прокатку вести через два „ребровых“ калибра; но и при прокатке через один „ребровой“ калибр можно получить более прямые боковые грани, если дно ребрового калибра вытачивать не ровным, а несколько выпуклым (фиг. 22, б). Тогда после выхода из такого „ребрового“ калибра полоса имеет соответствующую вогнутость на боковых гранях, вследствие чего после прохождения ее в чистовых валах боковые грани *n* могут получаться весьма ровными. Если же дно „ребрового“ калибра сделать ровным (фиг. 22, а), то от давления в чистовом калибре боковые грани *m* окончательного профиля получатся слегка выпуклыми.

На некоторых заводах, чтобы облегчить получение круглых профилей без заусенцев, чистовые калибры для них вытачивают не строго по кругу, а с некоторым расширением к цилиндрической поверхности бочек (фиг. 23). Конечно, в таком случае, если из предчистового овала идет излишек металла, то этот излишек может не дать заусенцев, а разойдется незаметно для глаза в указанном расширении калибра. Однако, получившийся профиль будет неточный: если вертикальный диаметр будет

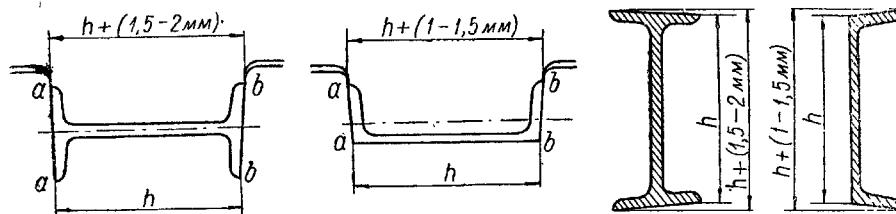
необходимой величины, то горизонтальный диаметр будет излишне велик.

Бывают случаи, когда калибры преднамерено вырезаются не строго правильными, т. е. не везде вполне соответствующими тем размерам, которые должен иметь профиль прокатной продукции. Здесь мы подразумеваем калибровку двутавровых балок, швеллеров и других профилей, боковые стороны которых должны прокатываться перпендикулярно к оси прокатных валков. Если чистовые калибры, например, для двутавровых балок (фиг. 24) пожелать делать во всех частях строго правильными, то стороны калибра *aa* и *bb*, соответствующие основаниям балки, пришлось бы вытачивать строго перпендикулярными к оси валков, а это, как известно, не принято делать по двум причинам:

1) при строго перпендикулярных боковых стенках калибра при каждой переточке валков, чтобы сточить выработавшиеся места на боковых стенках, пришлось бы уширять калибр против требуемого размера, отчего высота балки получалась бы все больше и больше;

2) при вертикальных боковых стенках у валков получается очень плохой „выпуск“ прокатываемой штуки, что сопряжено с опасностью обмотки штуки вокруг валков.

По указанным причинам чистовые калибры для двутавровых балок, швеллеров и им подобных профилей прокатываются так, как показано на фиг. 24, т. е. с расширением наружу на 1—2 мм и больше в зависимости от крупности прокатываемого профиля. Понятно, что при таком способе выточки чистовых калибров



Фиг. 24. Выточка чистовых калибров для двутавровых балок, швеллеров и т. п. профилей, обуславливающая неточность размера профиля по высоте

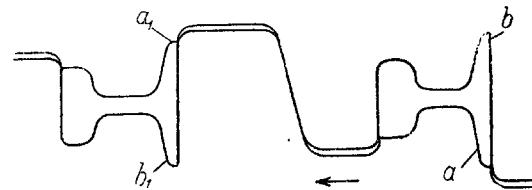
двутавровые балки, швеллеры и т. п. профили нельзя получать точных размеров во всех частях их. (Однако с получающейся неточностью размеров мирятся, пока эта неточность не выходит из пределов установленных допусков).

Подобным же образом и по тем же причинам, что и для двутавровых балок и швеллеров, иногда допускали получение

неправильного профиля при прокатке железнодорожных рельсов, а именно — получение слегка косых рельсов [26].

Конфигурация калибров может влиять на точность размеров прокатной продукции еще и другим способом, а именно: она может выражаться в том, что разные части готового профиля получаются с разной степенью точности. Это хорошо видно из рассмотрения фиг. 32 (а также и фиг. 33), показывающей величину колебаний размеров одной и той же полосы рельса узкой колеи на протяжении ее длины для отдельных элементов поперечного сечения: высоты рельса, ширины головки (*и*, косвенно, толщины ножки) и ширины подошвы. Как видно из фиг. 32, высота рельса *h* (фиг. 25) изменилась от 81,0 до 81,3 мм, т. е. в пределах около 0,3 мм. Ширина головки рельса *a* (*и*, соответственно, толщина ножки *b*) изменились от 32,15 мм (миним.) до 32,75 мм (макс.), т. е. в пределах около 0,6 мм. Наконец, ширина подошвы *c* колебалась от 64 мм (и даже несколько меньше) до 66 мм, т. е. в пределах 2 мм.

Причины разного изменения размеров одного и того же профиля, но в разных участках его поперечного сечения обусловлены законами пластической деформации металла в валках. Увеличение или уменьшение ширины шейки и толщины ножки рельса точно соответствуют изменению расстояния между валками, имеющему место в течение периода прохождения длинной полосы через валки: если валки сближаются на 0,2 или 0,3 мм, то и ширина шейки, а также и толщина ножки рельса (*a* и *b* на фиг. 25) уменьшается тоже на 0,2—0,3 мм. Но горизонтальный размер профиля (высота рельса *h*) изменится при этом незначительно, так как в данном случае профиль ограничен с боков стенками калибра. (Но если бы даже металлу была дана возможность свободно расширяться в стороны, то, как известно, уширение профиля составляет только часть



Фиг. 25. Разная величина колебаний размеров у одного и т. г же профиля (рельса). Наименьшая — по высоте (*h*), наибольшая — по ширине подошвы (*c*) и промежуточная — по ширине головки (*a*) и толщине ножки (*b*)

от величины давления (0,25—0,35), и, следовательно, сближению валков на 0,2—0,3 мм, т. е. увеличению давления на 0,2—0,3 мм, соответствовало бы уширению его на 0,05—0,1 мм).

Значительные колебания ширины подошвы рельса объясняются сложностью явления деформации в глубоко врезываемых в тело валков узких участках калибра, как, например, подошва рельсов, фланцы (полки) двутавровых балок. Как известно, подошва

рельсов или полки двутавровых балок прокатываются таким образом, что каждая половина подошвы или полки (верхняя и нижняя) прокатывается поочередно то в закрытой части калибра, то в открытой (фиг. 26). Характер истечения металла в закрытых частях калибра и в открытых значительно отличается между собой: в открытых частях соответствующая часть подошвы или полки увеличивает свою ширину, в закрытых — подошва или полка уменьшают свою ширину, причем в довольно значительных размерах (в закрытых частях калибра для подошвы рельса или для полки балки, как говорят, „теряется“ ширина соответствующих половин подошвы или полки). При этом на величину изменения ширины подошвы рельса или полки балки очень значительно влияют (больше чем в других частях калибров) неравномерность температуры прокатываемых полос, различная степень шероховатости стенок калибра и пр.

В результате всего этого имеет место значительно большая величина колебаний размеров ширины подошвы рельсов и полок двутавровых балок, чем величина колебаний других участков калибра тех же самых профилей. Другими словами, разные элементы поперечного сечения одних и тех же профилей могут прокатываться с различной степенью точности.

4. Влияние размещения и распределения калибров на валках и по клетям

Имея определенную калибровку, самые калибры можно располагать на валках по разному. Желая получить со стана большую производительность, на валках одной и той же клети помещают по несколько одинаковых калибров для одновременной прокатки нескольких штук, как это имеет место на последних клетях проволочных станов Гарретта (фиг. 1). Но можно калибры (все или часть) располагать по одному в каждой клети, устанавливая для этой цели несколько параллельных групп клетей, как это сделано на некоторых современных непрерывных стенах (фиг. 4).

Размещение калибров по несколько штук на одних и тех же валках может производиться двояко: или на валках помещаются калибры одинакового профиля и размера (валки чистовых линий проволочных станов Гарретта), или на валках одних и тех же клетей помещаются разные, последовательно идущие калибры одного и того же профиля, как это часто бывает у сортовых станов с клетями трио. И то и другое расположение нескольких калибров в валках одной и той же клети отрицательно отражается на точности прокатной продукции.

a) Размещение на валках одной и той же клети одинаковых калибров

При рассмотрении недостатков проволочных станов системы Гарретта указывалось, что на точность продукции отрицательно

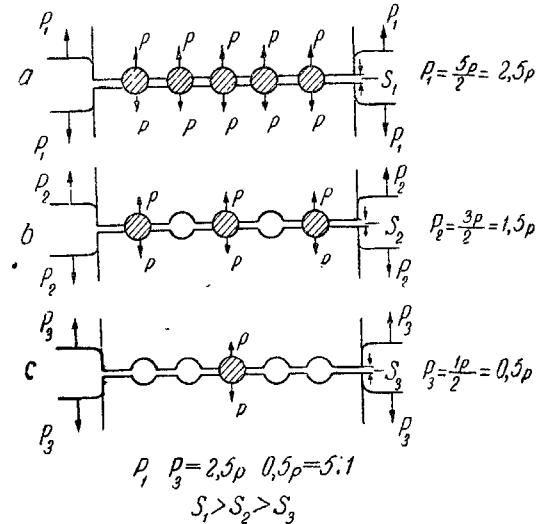
влияет размещение на одних и тех же валках нескольких одинаковых калибров, обусловливающие одновременную прокатку в них нескольких штук. Рассмотрим здесь причины этого отрицательного влияния.

Хотя каждый проволочный стан типа Гарретта может на чистовой клети работать с тем максимальным числом ниток, на которое он рассчитан (5, 6 и даже 7 штук), однако, в силу различных производственных причин (например, из-за различного рода задержек от печи и до чистовой клети) число ниток, одновременно проходящих через клети и, в частности, через последнюю чистовую клеть, все время колеблется. Так, например, лучший в нашем Союзе проволочный стан системы Гарретта на заводе им. Дзержинского может работать и временами в 5 ниток (фиг. 1).

Однако, в течение каждой смены имеются постоянные колебания числа ниток, проходящих через чистовую клеть, а именно: нередко через нее идут 4—3 нитки; иногда же, при различных ненормальностях, через чистовую клеть проходят только две и даже одна нитка. Понятно, что при разном количестве ниток и давления на подшипники валков значительно отличаются друг от друга, как это показано на фиг. 27. Из этой фигуры видно, что в случае одновременного прохождения пяти ниток (фиг. 27, a) давление на подшипники чистовой клети может быть в пять раз больше, чем в случае прохождения одной нитки (фиг. 27, c). Соответственно разнице в давлениях на подшипники и расхождение валков значительно меняется; колебание же в расстояниях между валками соответствующим образом отражается на профиле получающейся проволоки. При большом количестве одновременно прокатываемых ниток (4—5 шт.) более значительные расхождения валков дает увеличение вертикального диаметра проволок при одновременном уменьшении горизонтального диаметра их (фиг. 28, a).

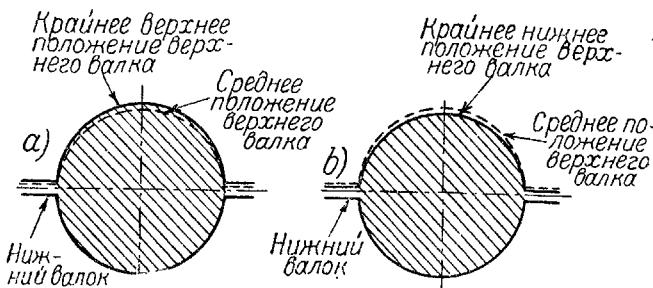
Наоборот, когда через валки идут только одна-две нитки, то от сближения валков вертикальный диаметр проволок уменьшается, а горизонтальный увеличивается (фиг. 28, b).

Вследствие указанных причин на многониточных станах си-



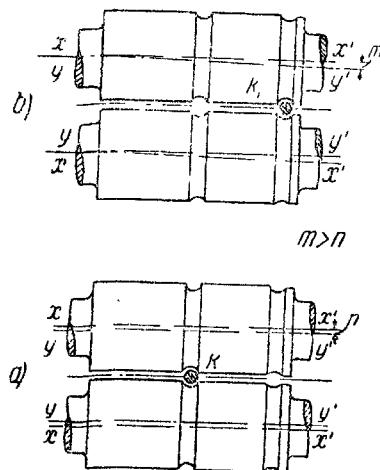
Фиг. 27. Величина давления на шейки валков и изменение расстояния между валками чистовой клети проволочного стана при различном количестве одновременно прокатываемых ниток:
a—прокатка в пять ниток; b—прокатка в три нитки
c—прокатка в одну нитку

стемы Гарретта нельзя получать проволоку с постоянной и достаточно высокой точностью диаметра.



Фиг. 28. Изменение профиля проволоки в зависимости от числа одновременно прокатываемых ниток
a—при максимальном числе ниток; b—при минимальном числе ниток

Если на чистовых валах прокатка производится с одинаковым числом одновременно проходящих штук (одна штука или больше), то все-таки в зависимости от расположения калибра, через который проходит штука, валки будут раздвигаться на разную величину, как это видно из фиг. 29. При прохождении штуки через калибр k (фиг. 29, a) валки раздвигаются приблизительно параллельно; при прохождении же штуки через калибр k_1 (фиг. 29) валки расходятся под некоторым углом. Во втором случае расхождение валков будет больше, чем в первом случае ($t > n$); поэтому величина профиля будет меняться в зависимости от того, в каком калибре прокатывается штука.

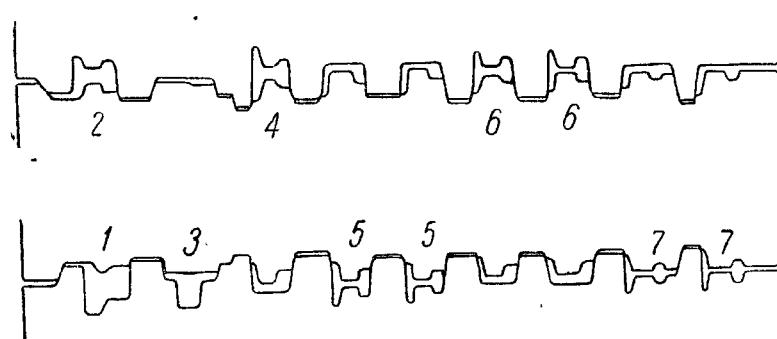


Фиг. 29. Разная величина расхождения валков в зависимости от положения калибра, через который проходит штука:

a—при прохождении через средний калибр оси валков (xx' и yy') расходятся параллельно; b—при прохождении через крайний калибр оси валков расходятся под углом (по В. Тафелю)

число и на валах чистовых клетей среднесортного стана системы Гарретта для прокатки рельсов узкой колеи в 1936 г. имели 7 калибров, как это показано на фиг. 30 и 31. При таком распре-

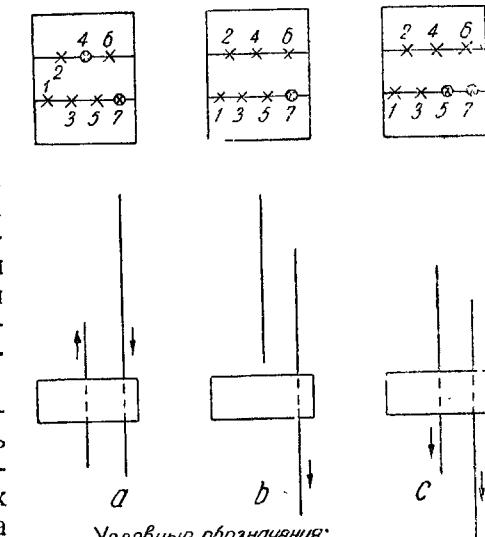
делении калибров, при интенсивной работе в валах чистовой клети одновременно прокатывается по две штуки. Одновремен-



Фиг. 30. Калибровка валков клети трио для прокатки рельсов 11 кг/пог. м на среднесортном стане „500“ завода им. Дзержинского

ная же прокатка нескольких штук в одних и тех же валах, как это уже было указано для проволочных станов Гарретта, работающих в несколько ниток, способствует уменьшению точности получаемого профиля, так как при этом увеличивается игра валков. Отрицательное влияние одновременной прокатки нескольких штук в одних и тех же валах будет еще подробно разобрано дальше, при рассмотрении влияния на точность профиля способа прокатки (при рассмотрении прокатки „с перекрытием“).

Чтобы избежать отрицательного влияния на точность размеров продукции одновременной прокатки нескольких штук в одной клети, иногда представляется возможным (например, при реконструкции стана) увеличить на одну-две клети стана. Распределив калибры на большее число клетей, уменьшают число калибров в каждой клети, в особенности в последней. В последней клети всегда желательно иметь только один пропуск. Если клети чистовой линии среднесортного или крупносортного стана системы трио, то чистовую клеть следует делать системы дуо (для одного прохода).



Фиг. 31. Схема различных стадий прокатки „с перекрытием“, обуславливающих различную величину расхождения валков чистового калибра [7]:
a—наименьшее расхождение; b—нормальное расхождение; в—наибольшее расхождение

Иногда представляется возможным для уменьшения числа калибров чистовой клети использовать имеющуюся, почему либо не работающую клеть того же стана и даже той же линии. Такой случай имел место на вышеуказанном среднесортном стане им. Дзержинского. До 1937 г. прокатку некоторых профилей на чистовой линии этого стана, имеющей три клети, вели только в двух клетях — в первой и третьей, валки же второй работали вхолостую. Такое нерациональное использование стана приводило к нагромождению до семи калибров в чистовой клети и к прокатке на этой клети одновременно нескольких (двух) штук, что давало весьма неудовлетворительную точность профиля. В 1937 г. чтобы увеличить производительность стана, лимитированную чистовой клетью, было приступлено к распределению калибров для некоторых профилей (рельсы, угловое) таким образом, чтобы из семи фасонных калибров чистовой клети перенести на среднюю клеть пять калибров, а в чистовой клети оставить только два калибра: предчистовой и чистовой. При таком перераспределении калибров точность выпускаемой станом продукции, конечно, должна увеличиваться, так как при прохождении какой-либо штуки через чистовой калибр последующая за ней штука будет прокатываться в одном из пяти калибров средней клети (а до предчистового калибра не успеет дойти).

5. Влияние величины обжатия (давления) в отдельных проходах

О влиянии величины обжатий на точность размеров прокатной продукции В. Тафель говорит следующим образом: „Чем больше давление, тем неравномернее получаются размеры штуки; материал уширяется неравномерно, и пружинящее действие валков делается больше и колеблется при малейшем изменении состава и температуры металла; следовательно, толщина продукта также получается неравномерной“. Поэтому в чистовых калибрах должно быть небольшое давление. Но слишком малые давления тоже не годятся, потому что тогда дают себя чувствовать самые незначительные неровности поверхности валков, и штука не выходит из валков прямо. При больших же давлениях величины неровностей поверхности составляют такой незначительный процент от давления, что влияние их не отражается на штуке. Тафель считает, что самое малое давление должно быть не меньше 5% от высоты штуки перед калибром или в абсолютных цифрах не меньше 0,5 мм при тонких штуках и не меньше 1,0 мм при штуках толщиной 10 мм и больше [8].

6. Влияние сечения заготовки, поступающей из обжимной клети в последующую клеть

При прокатке фасонных профилей, имеющих полки, как, например, двутавровые балки или швеллеры, имеет значение сечение выпускаемой из обжимных валков заготовки (блумсы), т. е. главным образом то обстоятельство, насколько ширина квадратной или прямоугольной заготовки из обжима соответствует ширине первого фасонного калибра.

Если ширина заготовки меньше чем следует, то в первом фасонном калибре она неправильно центрируется, что дает в результате неодинаковую толщину полок как у швеллеров, так и у балок. (При этом получается и другой дефект, а именно, невыполнение углов).

При слишком же широкой заготовке кроме того, что затрудняется процесс прокатки, ускоряется также и износ калибров, в результате чего профиль получается искаженным [55].

II. Влияние на точность размеров профиля способа прокатки

При одних и тех же условиях, в частности, при одной и той же калибровке валков, на точность размеров получающейся продукции влияет способ, каким производится прокатка.

1. Прокатка „с перекрытием“

На примере проволочных станов системы Гарретта было рассмотрено отрицательное влияние на точность профиля одновременной прокатки нескольких штук (ниток). Но проволочные станы этой системы по самой своей конструкции предназначаются для многониточной прокатки.

Несколько иначе обстоит дело при прокатке в чистовых клетях трио сортовых станов. В этих клетях прокатку можно вести двояко. В первом случае последующую штуку задают в первый калибр чистовой клети только после того, как предыдущая штука выйдет из чистового калибра. Во втором случае последующая штука задается в валки и начинает прокатываться еще в то время, когда предыдущая штука прокатывается в тех же валках (в других, конечно, калибрах); это так называемая прокатка „с перекрытием“. (В противоположность этому способу прокатку по первому способу можно назвать прокаткой „без перекрытия“).

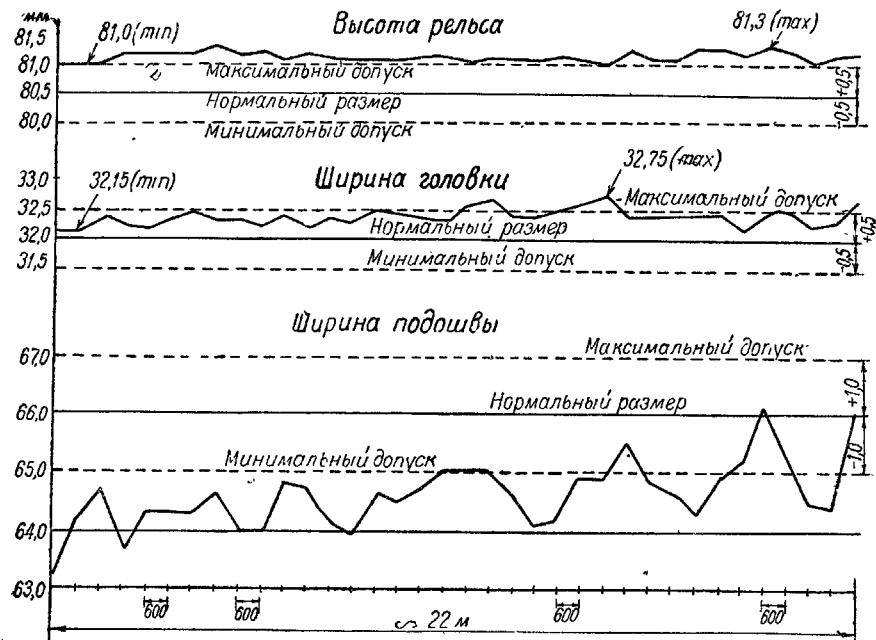
Прокатка „с перекрытием“ значительно повышает производительность стана, однако, имеет отрицательное влияние на точность профиля продукции. О размере этого влияния можно судить по результатам небольшого наблюдения, произведенного в 1936 г. на чистовой клети трио среднесортного стана ($\varnothing 500$ мм) завода им. Дзержинского (постройки 1910 г.) при прокатке ж.-д. рельсов узкой колеи типа 11 кг/пог.м.

Тройка валков этой клети имеет семь калибров, расположение которых схематически показано на фиг. 30 и 31. При прокатке в этой тройке штука иногда проходит через чистовой калибр 7 при свободных остальных калибрах; но чаще, усиливая темпы прокатки с целью увеличения производительности стана, в той же клети одновременно прокатывается еще другая штука, проходя или в одном из верхних калибров или в одном из нижних.

Конечно, во втором случае, в зависимости от сочетания работающих калибров, валки испытывают разное давление со сто-

роны двух прокатывающихся штук и, следовательно, игра валков получается разная, т.е. положение валков изменяется, что соответствующим образом отражается на толщине полос, выходящих из чистового калибра.

Чтобы выяснить, как отражаются указанные колебания положения валков на размерах профиля, были прокатаны две штуки рельсов узкой колеи типа 11 кг/пог.м, причем одна штука была прокатана на чистовой клети „без перекрытия“, т.е. в одиночку,



Фиг. 32. Колебания размеров поперечного сечения рельсовой полосы 11 кг/пог. м., прокатанной „без перекрытия“

а другая штука — „с перекрытием“, т.е. при одновременной прокатке в той же клети еще одной штуки. Схема прокатки для второго случая показана на фиг. 31. Профиль обеих штук был затем измерен на протяжении всей длины их через каждые 600 мм. Были измерены ширина головки, высота рельса и ширина подошвы (фиг. 25). Результаты измерений показаны в виде кривых на фиг. 32 и 33¹.

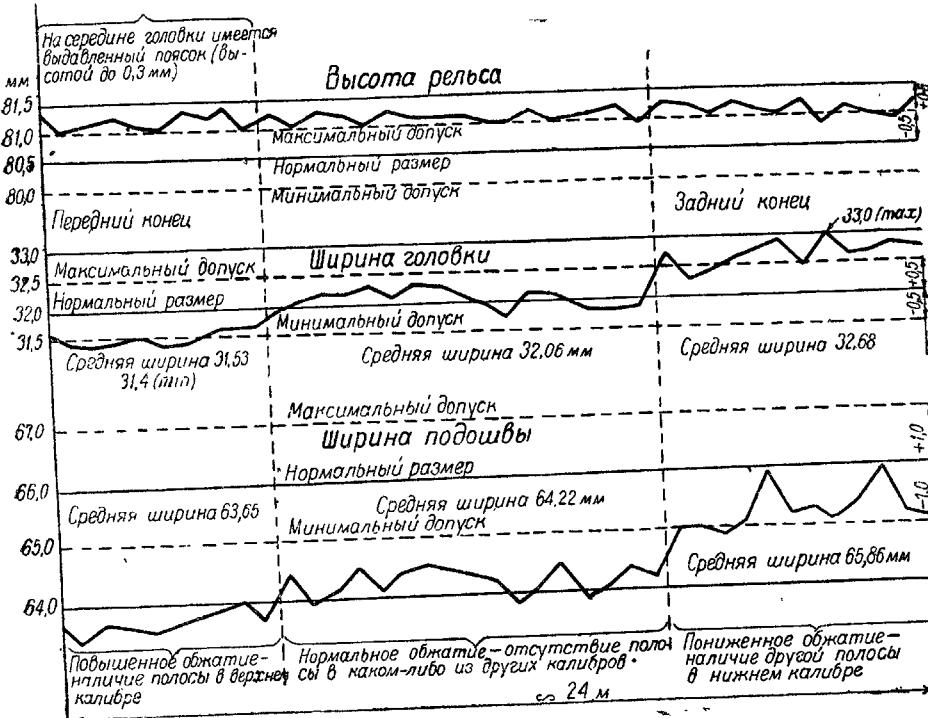
Как видно из схемы фиг. 31, прокатка второй штуки происходила следующим образом.

При прохождении через чистовой калибр 7 переднего конца исследуемой штуки одновременно, но в противоположном на-

¹ Толщина шейки не измерялась, так как полосы, чтобы не портить металла, были разрезаны на части нормальной длины (на три части каждая). Измерение же толщины шейки потребовало бы разрезки полос на куски по 600 мм.

Однако, хотя толщина шейки не измерялась, можно, конечно, считать, что изменение толщины шейки соответствует изменению ширины головки.

правлении, через калибр 4 заканчивала прохождение еще одна штука (фиг. 31, а). Так как имеющие при этом место вертикальные силы сопротивления деформации металла действовали на средний валок по противоположным направлениям, то сила, возникавшая в чистовом калибре 7 и стремившаяся поднять вверх средний валок, частично уравновешивалась силой, действовавшей вниз в калибре 4. Поэтому зазор между средним и нижним валками в рассматриваемый период получался меньше нормаль-



Фиг. 33. Колебания размеров поперечного сечения рельсовой полосы 11 кг/пог. м., прокатанной „с перекрытием“

ного (под нормальным зазором понимаем тот зазор, который получается при прокатке штуки „без перекрытия“¹); поэтому передний конец исследуемой штуки оказался тоньше нормальной толщины в среднем на 0,53 мм.

В промежутке времени между моментом выхода одновременно прокатываемой штуки из калибра 4 и подачей ее в калибр 5 наблюдавшаяся штука проходила одна в чистовом калибре 7 (фиг. 31, б). Этому периоду соответствовало увеличение зазора между средним и нижним валками, что дало увеличение толщины наблюданной штуки на средней части ее длины.

¹ Если бы разница температур обеих штук была незначительной, а калибровка такова, что величина обжатия в калибре 4 значительно превышала бы величину обжатия в калибре 7, то возможно, что равнодействующая обеих сил стремилась бы перемещать средний валок не вверх, а вниз.

Наконец, в период прохождения второй штуки через калибр 5 (фиг. 31, с) силы сопротивления деформации обеих прокатываемых полос действовали в одном направлении вверх по вертикали и этим обусловили увеличение зазора между средним и нижним валками, отчего исследуемая штука получилась толще нормальной в среднем на 0,62 (32,68—32,06) *мм*.

Сравнение кривых на фиг. 32 и 33 показывает следующее. У рельса, прокатанного „без перекрытия“, изменение ширины головки (это изменение наиболее показательно) колебалось сравнительно незначительно, достигая наибольшей величины 0,6 *мм*. У рельса же, прокатанного „с перекрытием“, ширина головки получилась:

Средняя ширина головки переднего конца рельса	31,53	<i>мм</i>
“ “ “ средней части	32,06	“
“ “ “ заднего конца	32,68	“
Разница между средней шириной головки переднего конца и средней части	- 0,53	“
То же для заднего конца и средней части	+ 0,62	“
То же для заднего и переднего концов	1,15	“
Разница между наибольшей и наименьшей шириной головки на всей длине рельса	1,6	“

Таким образом величина наибольшего колебания ширины головки у рельса, прокатанного „с перекрытием“, получилась больше, чем у рельса, прокатанного „без перекрытия“, в 1,6 : 0,6 = = 2,7 раза.

Такое увеличение колебания размеров имеет большое практическое значение: если у первого рельса колебания ширины головки могли уложиться в пределы допусков по ОСТ ($\pm 0,5$ *мм*), что дает предельную разницу 1,0 *мм*), то второй рельс, прокатанный „с перекрытием“, получился не удовлетворяющий ОСТ'у [27].

Поскольку уменьшение точности размеров профиля при прокатке „с перекрытием“ является следствием увеличения при такой прокатке игры валков, то мероприятиями для уменьшения отрицательного влияния прокатки „с перекрытием“ служит все то, что способствует уменьшению игры валков. Однако, конечно, этим нельзя совершенно устраниТЬ отрицательное влияние на точность профиля прокатки „с перекрытием“. Гораздо лучше, если оказывается возможным перераспределить калибры чистовой клети на несколько клетей, как об этом было сказано в разделе „Влияние калибровки и расположения калибров на точность прокатки“.

2. Другие примеры влияния способа прокатки на точность размеров профиля

В качестве других примеров влияния способа прокатки на точность профиля укажем на прокатку петлями и на прокатку многократным пропуском штуки через чистовой калибр.

Прокатка петлями. На чистовых линиях мелкосортных станов обычного типа (бельгийского) прокатка более крупных про-

филей полностью (т. е. во всех клетях) или частично (только в первых клетях) ведется таким образом, что штуке дают возможность полностью выйти из валка и только после этого задают ее опять в валки (задним концом).

Более же мелкие профили прокатываются „петлями“. Последний способ дает более точные размеры профиля, так как штука прокатывается быстрее и, следовательно, не так значительно остывает; меньшее же остывание вызывает меньшую игру валков, что и способствует получению большей точности профиля.

Пропуск штуки через чистовой калибр несколько раз. В некоторых случаях не удается получить профиля с требуемой высокой точностью, если прокатку вести обычным способом, т. е. пропуская штуки через чистовой калибр, как обычно, только один раз. Тогда для получения точного профиля приходится задавать штуку в чистовой калибр несколько раз.

Так, например, поступают при покатке квадратной качественной стали крупного сечения (75 × 75—130 × 130 *мм*): штуку задают в чистовой калибр несколько раз, поворачивая ее каждый раз на 90°.

Этот способ применим только для профилей крупного сечения, притом таких, сечение которых представляет правильную геометрическую фигуру вроде круга, квадрата и др.

Получаемая при таком способе точность профиля может быть весьма высокой.

Проф. В. Е. Грум-Гржимайло приводит пример прокатки круглого железа крупного сечения с весьма большой точностью размеров. Высокая точность достигалась тем, что штуку, полученную в предчистовом калибре (двенадцатигранной формы), пропускали при очень малом числе оборотов валков (чтобы штуку не свернуло) через чистовой калибр 4—6 раз поворачиванием каждый раз на 90°. Точность при такой прокатке получалась чрезвычайно высокая; у круглого железа диаметром 175 *мм* легко получали размеры, не выходящие из пределов допусков $\pm 0,5$ *мм* [28]. (Нужно сказать, что эта точность достигалась на стане старой постройки, т. е. вообще дающем невысокую степень точности продукции).

О том, насколько высока указанная точность, можно судить по тому, что ныне действующим у нас в Союзе ОСТ НКТП 2395 для круглых профилей диаметром 175 *мм* допускается точность для обычной прокатки $+2,0$ *мм* и $3,0$ *мм* и при повышенной точности $\pm 1\%$, т. е. $\pm 1,75$ *мм* (см. табл. 1 в начале книги).

III. Настройка стана и надзор за ним во время работы

Наличие даже самого совершенного в отношении конструкции и точности изготовления частей прокатного стана вовсе не гарантирует получения точного профиля на этом стане. Необходимо еще уметь эксплуатировать стан, т. е. уметь настраивать

его для прокатки каждого сорта и размера профиля и затем во время работы поддерживать эту настройку; необходимо вообще иметь должный надзор за станом.

1. Настройка прокатного стана

Умение правильно настроить стан, т. е. привести все части стана (валки, подушки, подшипники, проводки и пр.) в такое взаимное положение, при котором выходящая из стана продукция имеет возможно большую правильность и точность размеров профиля, является, конечно, первым условием получения точного проката.

Всякая настройка стана может быть правильной только применительно ко всем остальным условиям, при которых производится прокатка. Изменение же условий прокатки, очень часто изменение всего лишь одного условия, влияет на точность размеров получаемого профиля, хотя настройка стана остается неизменной. А факторов, влияющих на точность прокатки, очень много. Из этих факторов важнейшими являются: температура нагрева прокатываемого металла, равномерность темпа прокатки, длина прокатываемых полос и пр. Достаточно изменить один из факторов, как это изменение отразится в той или другой степени на размерах профиля.

От настройки нужно требовать, чтобы она была не только "правильной" в тот момент, когда она закончена. Настройка должна быть таковой, чтобы она могла обеспечить *возможно большую длительность получения возможно более неизменного по размерам профиля*. Другими словами, необходимо, чтобы, настроив стан и начав получать прокатную продукцию с требуемой точностью размеров, не приходилось через короткое время обнаруживать, что стан "расстроился", что получается профиль, выходящий из допусков, и что поэтому требуется возобновление настройки. *Необходимо, чтобы настройка стана была, так сказать, прочной*.

В этом отношении характерным является сообщение инж. Анциферова, имевшего возможность сравнить работу двух прокатных цехов, выпускающих качественную сталь: Златоустовского завода и одного из заграничных заводов.

В прокатном цехе последнего все части стана и вся вспомогательная арматура так точно и крепко пригнаны друг к другу, что после того, как их установили и укрепили, не требуется в течение целой смены никаких дополнительных подвертываний, ослаблений и т. п.; но чтобы достичь таких результатов, на настройку стана не жалеют затрачивать времени в 3—5 раз больше, чем в прокатном цехе Златоустовского завода.

В деле получения правильной настройки главнейшим условием является правильная настройка валков чистового калибра; но для получения точного чистового профиля очень важно, чтобы получился точный предчистовой профиль, т. е. необходима правильная настройка также и валков предчистового ка-

либра или предчистовой клети; это в свою очередь требует правильной настройки клети с калибром, предшествующим предчистовому калибру, и т. д. Другими словами, для получения точного профиля необходима правильная, тщательная настройка всех клетей стана.

Наконец, отметим, что каждому прокатному стану в зависимости от степени совершенства его конструкции, степени совершенства изготовления его деталей и пр., соответствует известный предел точности выпускаемой им продукции, перейти который очень трудно, а иногда невозможно даже при самой идеальной настройке стана. При старых прокатных станах, которых у нас еще немало, например, на Урале, а также и на Юге, нельзя требовать от настройки стана, чтобы она обеспечивала точность прокатки до, скажем, 0,1 мм. Отдельные штуки, конечно, могут получаться с такой точностью, но получать на таких станах эту точность у всей продукции невозможно.

2. Надзор за станом

Важно не только правильно настроить стан, но также и обеспечить длительное постоянство этой настройки. Постоянство же настройки стана определяется не только той тщательностью, с какой была произведена настройка, но и качеством надзора во время последующей работы стана.

В отношении надзора за станом необходимо обратить внимание на постоянную поддержку всех частей клети и всей клети в целом в *возможно более жестком состоянии* на износ калибров и смену их, на своевременную замену срабатывающих деталей и надзор за подшипниками.

a) Поддержка прочности укрепления всех частей клети

Поддержка прочности укрепления и скрепления между собой всех частей клети (за исключением, конечно, движущихся частей) и поддержка прочности (жесткости) укреплений всей рабочей клети в целом на фундаменте является необходимым условием для длительной сохранности раз произведенной настройки стана. Между тем нередко бывает, что в процессе работы стана на эти требования не обращают должного внимания. Вследствие этого разного рода крепления гайками, чеками, клинышками ослабеваются (гайки отвинчиваются, клинышки и чеки постепенно вылезают), первоначальная правильность положения деталей нарушается, игра валков увеличивается, в клети получаются большей или меньшей силы стуки и, как результат всего этого, точность прокатки понижается.

Очень важно также, чтобы обе станины клети были прочно скреплены друг с другом и одновременно прочно укреплены на фундаментных плитах основания. Между тем нередко это условие не соблюдается. Нередко можно наблюдать, что станины клети имеют заметные на глаз колебания, потому что гайки свя-

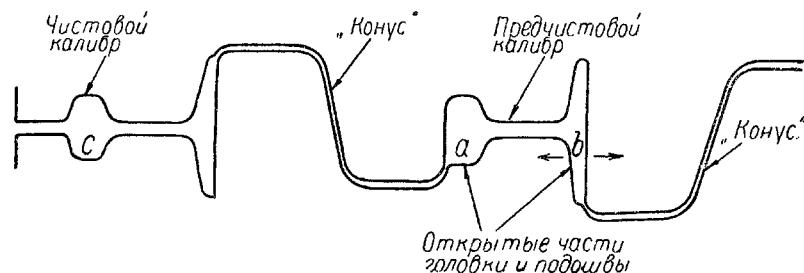
зей, скрепляющих станины вверху, сильно ослабли, а иногда даже совсем отсутствуют. Равным образом иногда отсутствуют трубы для распора, которые надеваются на указанные связи между станинами. Понятно, что в таком состоянии клеть не имеет никакой жесткости, и ее колебания и сотрясения способствуют ослаблению установки разных мелких деталей клети, расстраивая настройку стана.

Иногда станины, будучи прочно скреплены между собой, недостаточно плотно, неустойчиво стоят на фундаментных плитах только потому, что недостаточно туго затянуты гайки фундаментных болтов. В таком случае клеть при работе сотрясается. Это обстоятельство также отрицательно отражается на прочности укрепления разных деталей клети и на настройке валков.

Для устранения указанных дефектов необходимо возможно чаще, пользуясь остановками между сменами и остановками, происходящими в течение смены, осматривать все детали клети и подтягивать те из них, которые ослабли.

б) Своевременная смена калибров при износе. Износ „конусов“

От соприкосновения с горячим металлом получается износ поверхности валков; валки вырабатываются. У валков для профиль-



Фиг. 34. Износ „конусов“, вызываемый смещением валков по осевому направлению

ного проката вырабатывается поверхность калибров, а у валков для прокатки листов — поверхность бочек. Кроме того, у валков для прокатки профилей несимметричного сечения, как, например, железнодорожных или рудничных рельсов, срабатываются от истирания так называемые „конусы“ (фиг. 34), назначение которых — противодействовать взаимному перемещению валков от действия осевых сил, возникающих в результате неуравновешивания распирающих сил в открытых частях головки и подошвы калибров.

Всякая выработка калибров, не говоря уже о том, что делает поверхность их шероховатой и неровной, увеличивает размеры их, отчего количество металла, поступающего из выработавшегося калибра, например, из предчистового калибра в чистовой, оказывается излишне большим; это обстоятельство вы-

зывает увеличение чистового профиля, т. е. неточность его (очень часто при этом профиль получается с „закатом“).

Мероприятиями против вредного влияния выработки калибров являются: регулировка положения валков (пока выработка не значительная), своевременный переход на другие запасные калибры, если они имеются, и, наконец, смена валков, если запасных калибров нет.

При срабатывании трущихся поверхностей „конусов“ при прохождении штуки через валки происходит перемещение валков друг относительно друга в осевом направлении, отчего изменяются горизонтальные размеры открытых частей соответствующего калибра, а именно: увеличивается толщина подошвы b (фиг. 34) и уменьшается толщина головки a (распирающая сила в подошве больше, чем в головке). Получившаяся из предчистового калибра штука с такими изменениями отдельных частей ее профиля, будучи задана в чистовой калибр, дает „неполную“ головку, вследствие чего высота рельса получается недостаточной.

Мероприятием против износа „конусов“ является непрерывное и обильное смазывание их трущихся поверхностей. На это не всегда обращают должное внимание, и повышенный процент выхода вторых сортов ж. д. рельсов может иногда происходить от этой сравнительно незначительной причины. Периодическая смазка „конусов“ дает неудовлетворительные результаты; гораздо лучший результат получается при применении специальных коробок, наполненных смазкой соответствующей консистенции, постоянно прилегающих к поверхности „конусов“. Еще лучшие результаты дает автоматически действующая непрерывная смазка „конусов“. Применение такого способа смазки на Кузнецком заводе им. Сталина, по свидетельству В. Гуренкова, уменьшив износ „конусов“, привело к уменьшению брака железнодорожных рельсов по профилю [29].

в) Своевременная смена срабатывающих деталей

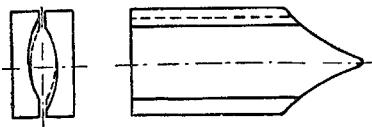
К таким деталям относятся, например, подшипники и вводные проводки. Если их своевременно не менять и в течение некоторого времени работать на сработавшихся подшипниках или вводных проводках, то в течение соответствующего времени профиль продукции будет получаться в той или другой степени неправильным, а следовательно, и неточным. Отметим в этом отношении роль вводных (передних) проводок (пропусков). При прокатке круглых профилей вводные проводки перед чистовыми калибрами на последней клети должны иметь выемку правильной овальной формы, что обеспечивает правильный ввод штуки в калибр и правильность обжатия ее в калибре. Эти проводки в начале смены могут иметь правильную выемку, но достаточно в течение смены пропустить через них несколько штук со значительно пониженней почему-либо температурой, как стенки проводок могут настолько стереться (фиг. 35), что правильность

свала выемки уничтожается, в результате чего (если не сменить проводки из новые) профиль будет получаться неправильным. Что касается подшипников, то необходимость менять сработавшие не требует особых пояснений.

2) Надзор за шейками и подшипниками валков и смазка их

При неудовлетворительном надзоре за шейками и подшипниками валков происходит ненормально быстрое срабатывание подшипников и даже порча шеек валков, что вызывает изменение расстояния между валками, а это обстоятельство отражается на точности размеров прокатной продукции. Кроме того при этом происходит значительный разогрев подшипников и шеек валков, что также отражается на точности размеров профиля.

Нередко этот надзор бывает настолько неудовлетворительным, что шейки валков оказываются совершенно испорченными,



Фиг. 35. Срабатывание (истирание) поверхности вводных проводок (пропусков), вызывающее получение неправильного профиля (при прокатке круглого)



Фиг. 36. Испорченная (‘задранная’) шейка прокатного валка вследствие неудовлетворительного надзора за подшипниками

‘задранными’ (фиг. 36). Каждая такая испорченная шейка свидетельствует о том, что в период порчи ее стан выпускал неудовлетворительную продукцию. Между тем нередко валки с такими шейками продолжают лежать в цехе, как ‘запасные’.

Особенно легко портятся шейки при бронзовых и вообще металлических подшипниках скольжения. Однако, и при текстолитовых подшипниках недостаточный надзор приводит к очень печальным результатам. Об этом свидетельствуют случаи срабатывания текстолита в наборных подшипниках до такой степени, что шейки валков начинают задевать о металлические кассеты (коробки) этих подшипников и вследствие этого портятся.

Основными мерами предупреждения порчи шеек валков и подшипников является подвод на них достаточного количества доброкачественной смазки, а также и воды и, кроме того, правильность положения шеек валков в подшипниках и подшипников в подушках. При текстолитовых подшипниках, почти не требующих особой смазки, подвод воды должен быть особенно обильный, причем вода должна быть чистая (для чего ее нужно пропускать через фильтр) и подаваться под большим давлением. Во всех случаях нужно следить, чтобы шейки валков были не

слишком слабо зажаты в подшипниках, иначе или шейки будут греться или валки будут ‘болтаться’ в подшипниках¹.

Степень совершенства смазывания подшипников прокатных валков также оказывает влияние на точность прокатки. Играет роль и качество самой смазки и способ смазывания. При хорошей смазке подшипников и шеек меньше изнашиваются подшипники валков и самые шейки валков, следовательно, реже нарушается настройка валков и реже приходится регулировать расстояние между ними. В то же время равномерное смазывание подшипников и шеек способствует поддержанию температуры их на одинаковом уровне, что в свою очередь способствует поддержанию постоянству размеров диаметра бочек валков. Изменения диаметра бочек валков, вызываемые колебаниями температуры бочек, отражаются на толщине прокатываемых профилей.

Что касается качества смазки в отношении влияния ее на износ подшипников, то особенное значение этот вопрос приобретает в случае работы валков, а следовательно, и подшипников под большими давлениями, как это имеет место, например, у роликовых подшипников непрерывного тонколистового стана ‘Запорожстали’, пущенного в 1938 г. В таких случаях требуется, чтобы смазочный материал, образуя тонкую пленку между поверхностью ролика и кольца подшипника, был способен выдерживать большое давление без разрыва этой пленки [30].

Кроме качества смазки имеет значение и способ смазки подшипников и шеек. Обычный способ смазки подшипников и шеек, применявшийся при подшипниках скольжения, индивидуальный для каждого подшипника и заключающийся в периодическом накладывании или добавлении на шейки и подшипники того или другого рода смазочных материалов, для точной прокатки является неудовлетворительным. В первые моменты после закладки или добавления на шейки и подшипники смазочных материалов смазывание трущихся поверхностей происходит лучше, чем в последующий период. Кроме того, качество смазывания в очень значительной степени зависит от внимания обслуживающего персонала. Наконец, смазка по этому способу, не будучи принудительной, вообще недостаточно хорошо обеспечивает достаточное смазывание трущихся поверхностей. В результате этого при обычном способе смазки износ подшипников получается интенсивным, что отражается на точности прокатки.

Значительные преимущества в смысле уменьшения износа подшипников с вытекающими отсюда последствиями имеет централизованная смазка под давлением, при которой от одной смазочной центральной установки смазываются все подшипники данного стана, как это в последнее время применяется в США для разного рода станов (включая блюминги, обжимные станы,

¹ О рациональном надзоре и уходе за подшипниками и шейками валков довольно много сказано в статье автора: ‘Об улучшении условий эксплуатации валков’ (58).

листопрокатные и др.). У нас в Союзе такая смазка имеется, например, на тонколистовом непрерывном стане „Запорожстали“.

О влиянии централизованной смазки под давлением на уменьшение износа подшипников можно судить по нижеследующим цифрам, относящимся к одной такой установке в США фирмы Keystan Lubrikation Company („пневмо-электро-установка“). До применения этой системы смазки износ подшипников составлял от $\frac{1}{16}$ до $\frac{1}{8}$ в сутки; такой значительный износ требовал ежедневной регулировки валков. При введении автоматической смазки после недельной работы стана требовалась регулировка только на $\frac{1}{17}$, что свидетельствует об уменьшении величины износа в семь раз [30]¹.

Понятно, что в последнем случае требуется значительно более редкая регулировка валков, что способствует увеличению точности прокатки.

IV. Влияние на точность размеров температуры прокатываемого металла

Наряду с качеством оборудования, на котором производится прокатка, и качеством настройки этого оборудования (настройки стана), важнейшим фактором, оказывающим громадное влияние на точность размеров получаемой со стана продукции, является температура прокатываемого металла.

Как бы совершенно ни было оборудование, на котором производится прокатка, как бы тщательно ни настраивали стан, но если нагрев металла не будет удовлетворительным, то точность прокатной продукции будет получаться пониженной.

Для возможности удовлетворительной (в смысле точности размеров) прокатки от нагрева металла требуется, во-первых, чтобы температура прокатываемых штук была возможно равномерной как в поперечном сечении каждой штуки, так и по длине ее; во-вторых, чтобы температуры разных штук, прокатываемых друг за другом, тоже были возможно более одинаковыми между собой. Кроме того желательно, чтобы температура прокатываемого металла была достаточно высокой.

1. Влияние неравномерной или недостаточно высокой температуры нагрева металла

Отрицательное влияние неравномерного нагрева проявляется двояким образом.

Во-первых, металл с разной температурой в разных местах одной и той же штуки или с неодинаковой температурой разных штук имеет разное уширение и, вообще, по разному заполняет калибр, чем обусловливается, как известно, или появление заусенцев (при температуре ниже нормальной), или же невыполнение тех или других мест калибров (при температуре выше нормальной).

¹ Приводящий эти цифры автор не указывает наименования единиц изменения; можно предполагать, что приведенные цифры обозначают дюймы.

мальной). О степени влияния изменения температуры на уширение можно судить по заимствованной у Е. Зибеля фиг. 37, показывающей изменение ширины овала при понижении температуры [31].

Как видно из этой фигуры, разница в величине уширения при разных температурах металла довольно значительная.

Во-вторых, влияние неравномерного нагрева сказывается в том, что металл с разной температурой оказывает разное сопротивление деформации обжатия, чем обуславливается разная величина игры валков (см. выше) и, как следствие этого, разная толщина профиля по вертикальному направлению, что, конечно, сказывается и на размерах профиля по другим направлениям.

Понятно, что если разное уширение или разная высота профиля получаются в предчистовом или в ближайшем к нему калибре, то это обстоятельство соответствующим образом отражается и на размерах чистового профиля.

М. Ру приводит следующие величины разницы в толщине переднего (более горячего) и заднего (более холодного) концов штук различных профилей при разнице температур концов около 100° и при сравнительно небольшой длине полос, прокатанных на станах со станинами открытого типа обычной конструкции:

на овалах для круглого $\varnothing 5 \text{ мм}$ до $0,3\text{--}0,5 \text{ мм}$
на круглом $\varnothing 25 \text{ мм}$ $0,4\text{--}0,6 \text{ мм}$

(по вертикальному диаметру)

на полосе $40 \times 6 \text{ мм}$ после чистового перехода . . . до $0,3\text{--}0,5 \text{ мм}$ ¹
на швеллере $140 \times 60 \times 5,5 \text{ мм}$ (при длине 25 м) до $0,5 \text{ мм}$
на швеллере $220 \times 70 \times 9 \text{ мм}$ (при длине 40 м) до $1,0 \text{ мм}$ [2].

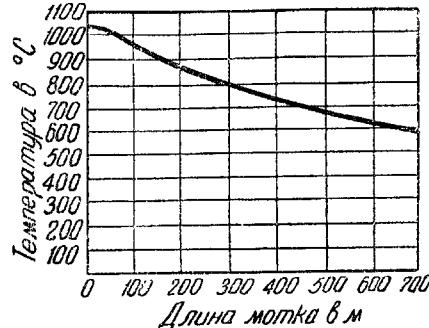
Приведенные цифры, как видим, относятся к сравнительно крупным профилям. О величине изменения толщины профиля в зависимости от изменения температуры при прокатке мелких профилей (круглого $\varnothing 6\text{--}12 \text{ мм}$) можно косвенным образом судить на основании диаграмм на фиг. 38, 39 и 40, приводимых А. Нöллем [32]. Хотя диаграммы на фиг. 39 и 40 показывают изменение (приращение) высоты профиля в зависимости от увеличения длины мотков, но увеличение длины мотков вызывает это изменение высоты профиля не само по себе, а тем, что с увеличением длины мотков температура их концов все больше

¹ Если заканчивать прокатку в предчистовом проходе, то разность толщины нередко достигает 1,0 мм.

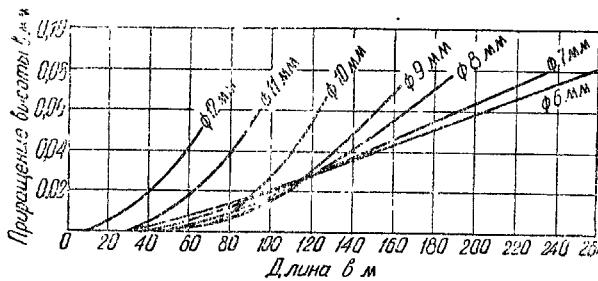


Фиг. 37. Различное уширение в овальном калибре в зависимости от изменения температуры металла (по R. Horff'у)

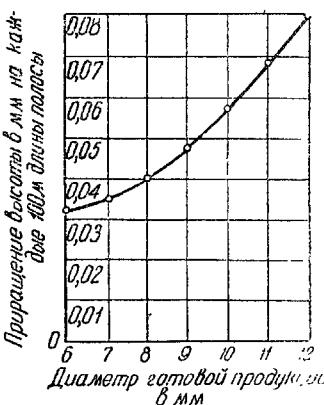
и больше понижается; о том же, в какой степени происходит понижение температуры по мере увеличения длины мотков мелких круглых профилей, можно судить по диаграмме на фиг. 38.



Фиг. 38. Понижение температуры конца мотка проволоки в зависимости от увеличения длины мотка (A. Nöll)



Фиг. 39. Приращение высоты чистового овала для круглого диаметра от 6 до 12 мм (A. Nöll)



Фиг. 40. Приращение высоты чистового овала на каждые 100 м для круглого диаметра от 6 до 12 мм (A. Nöll)

М. Ру считает, что при прокатке металла с той же разницей температур, как в только что приведенном примере, но в клети, имеющей минимальную игру валков (т. е. той конструкции, которую он предложил) (см. фиг. 17), игра валков меняется следующим образом: при температуре полосы в 1160° она получается равной 0,15 мм, а при понижении температуры до 1040° — 0,3 мм, т. е. в такой клети толщина прокатываемых штук меняется всего лишь на 0,3 — 0,15 = 0,15 мм (вместо 0,75 мм).

Если представить себе случай прокатки нескольких полос, из которых каждая имеет равномерную температуру, но отличающуюся по какой-либо причине от температуры других полос

(например, при перерывах в выдаче штук из печи), то, конечно в пределах длины каждой из таких полос размеры могут быть одинаковые, разница же получается только при сравнении размеров разных штук.

Наконец, для получения большой точности размеров необходимым условием является достаточно высокий нагрев. Это условие вызвано тем, что при пониженной температуре прокатываемого металла все части стана испытывают повышенное напряжение по сравнению с прокаткой металла при нормальной высокой температуре. Поэтому всякая неоднородность прокатываемого металла, понимаемая в широком смысле слова, т. е. неоднородность физического строения, химического анализа, неравномерность нагрева и пр., вызывает более значительные колебания размеров профиля.

Поэтому всегда желательно нагревать подлежащий прокатке металл до высокой температуры; исключения составляют те случаи (при прокатке специальных сталей), когда для нагрева металла указываются определенные температурные пределы, выходить из которых нельзя из-за возможности ухудшения физико-механических и других свойств получаемой продукции.

2. Причины, обуславливающие неравномерность температуры прокатываемого металла

Причины, вследствие которых прокатываемый металл может иметь неодинаковую температуру как в поперечном сечении, так и по длине, а также причины, по которым температура одной штуки отличается от температуры другой, довольно разнообразны.

Неравномерная и неодинаковая температура прокатываемых штук может явиться следствием неудовлетворительности процесса нагрева металла в нагревательных устройствах, а также вызвана условиями охлаждения металла во время процесса прокатки. Кроме того могут быть случайные причины, способствующие неравномерному охлаждению штуки во время периода прокатки.

a) Причины, обусловливаемые несовершенством процесса нагрева металла

Подробное рассмотрение этих причин излагается в специальных курсах нагревательных устройств прокатных цехов; поэтому здесь ограничимся только напоминанием главнейших из них. К причинам этого происхождения относятся: несовершенство конструкции нагревательных устройств прокатного цеха, слишком большая быстрота нагрева, недостаточное время выдержки металла перед выдачей, неправильная регулировка процесса горения, неподходящие размеры нагреваемого металла, неудовлетворительная кантовка металла в печах и др. Сюда же относится неравномерный темп выдачи слитков или заготовки из печей.

б) Причины, вызываемые условиями охлаждения металла во время процесса прокатки

Если металл, вынутый из нагревательной печи или нагревательных колодцев, был нагрет даже абсолютно равномерно, то в процессе прокатки при обычно происходящем охлаждении металла эта равномерность нагрева в той или другой степени нарушается (если не будут приняты некоторые специальные меры, о которых будет сказано дальше). Причин неравномерного охлаждения штуки несколько.

Первой причиной является то, что задний конец штуки проходит клети прокатного стана, в частности чистовую клеть, не в одно и то же, а в разное время.

Вторая причина — то, что входящий в валки конец в течение времени прохождения через валки (в течение каждого прохода) охлаждается несколько больше средины (и заднего конца), так как он первым соприкасается с несколько охладившимися в течение паузы валками; середина же штуки (и другой конец) приходит в соприкосновение с валком, разогревшимся от прохождения переднего конца. При прокатке штуки все время одним концом вперед указанное обстоятельство способствует разнице температур переднего и заднего концов.

Наконец, неравномерность охлаждения штуки по длине происходит еще потому, что вообще концы штуки охлаждаются сильнее средины, что особенно проявляется в начале прокатки, когда штука короткая.

Получившаяся при этом некоторая разница температур концов и середины остается и тогда, когда штука дальнейшей прокаткой получает значительную длину.

в) Случайные причины, могущие вызвать неравномерное охлаждение прокатываемого металла

Наконец, неравномерное охлаждение (в отдельных местах прокатываемых штук) может получаться от случайных причин. К таким причинам, например, относятся: буксование штуки в валках, в результате которого в месте соприкосновения штуки с валками может получиться более сильный разогрев; падение штуки какой-либо частью на мокрое место настила пола (что может произойти по разным случайным причинам: протекание неисправной крыши цеха, порча водопровода и пр.), попадание воды в карманы для петель проволочных или мелкосортных станов, попадание воды, охлаждающей валки, на одно и то же место штуки (на передний конец), при задержке по какой-либо причине штуки при задаче ее в калибр (непосредственно или через пропуска) и т. п.

В зависимости от степени охлаждения, на соответствующем месте прокатываемой штуки получается большее или меньшее нарушение точности размеров профиля.

Наконец, разные задержки в прокатке вызывают ненормально большое охлаждение прокатываемых штук по всей их длине.

3. Мероприятия для получения равномерной температуры прокатываемого металла

В соответствии с разделением на две основные группы причин, вызывающих неравномерную температуру прокатываемого металла, и мероприятия для получения возможно более равномерной желаемой величины температуры прокатываемого металла можно разделить на две группы, а именно: мероприятия для получения возможно более равномерной температуры металла при его нагреве и мероприятия для получения одинаковой температуры металла во время его прокатки.

а) Мероприятия для получения равномерной температуры при нагреве металла

Поскольку вопрос рациональных способов нагрева металла, идущего в прокатку, составляет предмет специальных курсов по нагревательным устройствам прокатных цехов, то ограничимся здесь только перечислением некоторых основных условий, способствующих получению равномерного нагрева. К таким условиям относятся: рациональная конструкция нагревательных устройств, правильно выбранная продолжительность нагрева металла, достаточное время выдержки его перед выдачей, должное количество раз кантовки слитков или заготовки, исправное состояние пода нагревательных печей и пр., а также равномерные темпы выдачи нагретых штук и др.

б) Мероприятия для выравнивания и поддержки на желательном уровне температуры металла во время прокатки его

Здесь будут указаны те способы, которые в последние годы применяются (пока еще только на некоторых заграничных заводах) для устранения неравномерности температуры металла, получающейся во время самого процесса прокатки его вследствие, главным образом, неодновременного (т. е. не мгновенного) прохождения всей длины штуки через отдельные калибры (отдельные клети) стана.

Применение этих способов, конечно, усложняет и процесс прокатки и, в большинстве случаев, оборудование стана. Поэтому оно имеет место только в тех случаях, когда от прокатной продукции требуется особая точность размеров.

Регулировка температуры металла во время прокатки без применения специальных устройств. Сравнительно простым способом для получения одинаковой температуры металла во время процесса прокатки его, способом, не требующим каких-либо специальных устройств, является регулировка скорости прохождения его между отдельными клетями или группами клетей. Так, например, на полуунпрерывном листопрокатном стане, пущенном в декабре 1936 г. на заводе Corning-Illinois Steel Corp. в Homestead'e (США), прокатывающем листы углеродистой и легированной стали (шириной от 500 до 2280 мм, при толщине 2,4—16 мм) для того, чтобы листы, посту-

пающие в чистовую группу, имели одинаковую температуру, применяется регулировка скорости роликов транспортного рольганга, передающего листы от черновой реверсивной клети до чистовой группы клетей [33].

Такая же регулировка температуры применяется на пущенном в конце 1937 г. в Динслакене (Германия) непрерывном стане для прокатки широкой ленты и листов, имеющим черновую группу из четырех клетей дуо (800×1450 мм) и чистовую группу тоже из четырех клетей квартро ($1070/500 \times 1450$ мм) и служащем для прокатки ленты и листов толщиной 1,25—10,0 мм при ширине 400—1300 мм. Рольганги между клетями могут вращаться с любой (практически нужной) скоростью, что дает возможность регулировать температуру конца прокатки [9].

Наконец, простым способом, иногда применяемым при прокатке, например, ж.-д. рельсов, если отдельные полосы оказываются перед последними калибрами слишком горячими, является задержка полосы перед валками на несколько секунд.

Иногда же для получения желаемой температуры во время самого процесса прокатки, притом температуры одинаковой для всех прокатываемых штук, применяют специальные устройства, причем достигнуть этого возможно, смотря по обстоятельствам, двумя противоположными способами: или посредством охлаждения штук перед некоторыми клетями или же посредством нагревания их.

Выравнивание температуры металла во время прокатки посредством специальных охлаждающих устройств. В качестве примера, иллюстрирующего первый способ, т. е. выравнивание температуры посредством охлаждения, приведем способ, применяемый на пущенном в 1935 г. непрерывном стане американского завода River-Rouge около Детройта (США), прокатывающем широкие полосы шириной до 1220 мм (для сутунки) повышенной точности, так как эти полосы предназначаются для получения из них автолистов максимально равномерной толщины. Этот способ заключается в следующем. На рольганге (длиною около 53 м), расположенным между черновой и чистовой группами клетей, установлена специальная система, охлаждающая прокатываемые полосы воздухом; это делается посредством воздушных сопел, расположенных сверху и снизу рольганга на протяжении 30 м. Сопла включаются и выключаются одно за другим автоматически самими проходящими штуками. Продолжительность действия сопел контролируется с помощью предварительно устанавливаемых реле.

Без применения такого охлаждения полос разница температур передних и задних концов их перед входом в чистовую группу клетей бывает до 65° ; применение же указанной охладительной системы дает почти одинаковую температуру по всей длине полос.

Температура полос контролируется пиromетром, установленным перед чистовой группой клетей [34].

Подобная же система охлаждения прокатываемого металла предусмотрена на широкополосном и листовом стане завода-

Mc Donald фирмы Carnegie Steel Co [35], а у нас в Союзе на тонколистовом непрерывном стане Запорожстали.

Как видно из вышеизложенного, выравнивать температуру прокатываемого металла в нужном направлении вполне возможно и способов для этого много. Упоминаем, что в некоторых случаях, именно, при прокатке профилей крупного сечения, в отношении отдельных штук, почему либо приходящих к последним калибрам с пониженной против нормальной температурой, для предотвращения утолщения профиля иногда поступают иначе, а именно, сближают валки. Так, например, при прокатке железнодорожных рельсов, если в валки приходится задавать полосу с пониженной температурой, то верхний валок опускают на 0,4—0,5 мм [36].

Выравнивание температуры металла во время прокатки посредством специальных устройств для подогрева. Что касается способа выравнивания температуры прокатываемого металла посредством его подогрева в процессе прокатки, то о нем еще в 1932 г. сообщал А. Nöll в журнале "Stahl und Eisen" за 1932 г., указав, что такой способ применялся на одном из прокатных станов постройки последнего времени (перед 1932 г.), который служит для прокатки проволоки в мотки весом 200 кг.

Так как такой значительный вес мотков обуславливает очень значительную длину проволоки в каждом мотке и вызывает длительное прохождение штуки через валки последней клети, а именно, около 70 сек. (даже при такой значительной скорости как 23 м/сек), то без применения особых мер (в данном случае промежуточного подогрева) получалась бы слишком большая разница температур переднего и заднего концов с уже известными нам последствиями.

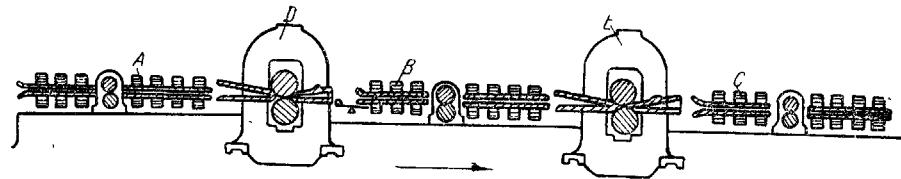
Для уменьшения этого зла на стане, упоминаемом А. Nöll'ем, имеется жолоб, установленный между I и II черновыми станови и отапливаемый коксовым газом. Проходя через этот жолоб, штука подогревается, выравнивая свою температуру. Поскольку прокатка производится в две нитки, то и жолоб имеет два прохода [37].

Похожее подогревательное устройство для выравнивания температуры применено на пущенном в начале 1936 г. одном заграничном стане для прокатки мелкосортного железа и проволоки. Перед ножницами, установленными перед второй непрерывной черновой группой, имеется на рольганге особый нагревательный жолоб, дном которого служит ближайший к ножницам участок рольганга, а верх и бока образованы рядом прилегающих друг к другу П-образных крышек (снимающихся в случае необходимости). Через этот жолоб (вернее сказать, тоннель) проходит штука (70 mm^2), вышедшая из I черновой непрерывной группы, выравнивая при этом свою температуру.

Необходимость этого жолоба объясняется тем, что входная скорость у 1-й клети II черновой группы небольшая. Если не требуется подогрева, то жолоб может отодвигаться, причем на его месте ставится обыкновенный рольганг [14].

В литературе еще имеются указания о подогреве металла во время прокатки посредством электричества. Так, например, в США в 1929 г. строился стан дуппель-дюо для прокатки сутунки и тонкой заготовки, у которого прокатываемый металл должен был подогреваться электрическими катушками, расположенными с обеих сторон подъемных столов. Представление о способе подогрева прокатываемого металла электрическими катушками с целью компенсации потерь тепла при прокатке дает фиг. 41, показывающая способ подогрева, намеченный на другом строившемся тоже в США в 1929 г. стане, а именно, тонколистовом стане.

Как видно из фиг. 41, стан, состоящий из двух клетей *D* и *E*, имеет три группы электрических катушек *A*, *B* и *C*, играющих роль печей. Прокатываемый лист, пройдя первую группу электрических катушек *A*, действием фрикционных валков задается в клеть *D*. Потеря тепла, имеющая место у листа при прокатке его в этой клети, восстанавливается при прохождении



Фиг. 41. Тонколистовой реверсивный стан с нагревательными электрическими катушками для уменьшения потерь тепла (L. Sammen)

его через катушки *B*. От катушек *B* лист другой парой фрикционных валков подается во вторую клеть *E*, пройдя которую он подогревается в третьей группе электрических катушек *C*. После этого реверсируется движение валков как рабочих клетей, так и фрикционных валков, и лист проходит рабочие клети и электрические катушки в обратном порядке. За шесть пропусков заготовка толщиной 2,8 мм доводится до толщины 0,7 мм.

Указанным способом удается весьма точно регулировать температуру прокатываемых листов, что в особенности важно при прокатке листов специальной стали [38].

V. Влияние на точность размеров скорости прокатки, длины прокатываемых штук, перерывов во время прокатки и изменения темпов прокатки. Влияние автоматизации прокатки

Все перечисленные разнородные факторы, изменяясь в своей величине, могут влиять на точность размеров прокатной продукции потому, что изменение их величины отражается на температуре прокатываемого металла, а, как было показано выше, изменение температуры металла отражается на размерах прокатываемого профиля.

1. Влияние на точность скорости прокатки

Чем меньше скорость прокатки, тем более долгое время прокатывается штука, тем большей получается разница температур переднего и заднего концов; кроме того, тем сильнее общее понижение температуры штуки по всей длине ее. А как общее понижение температуры, так и разница в температуре обоих концов штуки являются причинами уменьшения точности размеров прокатной продукции. Поэтому современные быстроходные стани более пригодны для получения точных размеров, чем старые тихоходные. Кроме того, старые стани очень часто имеют недостаточно сильные двигатели. Вследствие этого при интенсивном использовании станов (увеличение числа штук, прокатываемых в единицу времени, увеличение длины прокатываемых штук) нередко бывают случаи замедления скорости прокатки: по мере прохождения штуки в валках число оборотов стана постепенно уменьшается; поэтому задний конец штуки проходит валки с температурой, сильно пониженной против переднего конца, что отрицательно отражается на точности профиля.

Сказанное о положительном влиянии увеличения скорости прокатки главным образом относится к станам для профильной прокатки. Что касается других случаев, как, например, прокатки тонких листов для жести, то имеются указания, что превышение за известный предел скорости ее прокатки ведет к уменьшению равномерности ее толщины, т. е. к уменьшению точности размеров продукции.

Так, например, американцы считают, что при прокатке тонких листов для жести максимальное число оборотов чистовых валков должно быть не больше 35 в минуту (при диаметре валков в клетях дюо около 700—720 мм). При уменьшении этой скорости качество горячекатанной жести улучшается, а именно, толщина листов получается равномернее, исчезает легкая поверхностная волнистость [40].

(В дальнейшем особо указывается, что величина скорости при прокатке тонких листов влияет на величину деформаций в стане).

2. Влияние на точность длины прокатываемых штук

Чем больше длина прокатываемых штук, тем труднее получить одинаково точные размеры по всей длине штуки. Происходит это потому, что при увеличении длины прокатываемых штук увеличивается время прокатки каждой штуки, что вызывает увеличение разницы температур переднего и заднего концов.

Падение температуры от переднего конца к заднему особенно заметно на мелких профилях и в особенности на проволоке. В последнем случае разница температур переднего и заднего концов получается особенно значительной при прокатке проволоки на проволочных станах Гарретта, т. е. петлями, когда

штука соприкасается длительное время с плитами пола (карманов). О получающемся падении температуры в зависимости от длины штук для случая прокатки проволоки можно судить по фиг. 36, заимствованной у А. Нöллья [32].

Падение температуры от одного конца мотка к другому вызывает изменение размеров, а именно, утолщение к заднему концу. Увеличение размеров проволоки к заднему концу тем больше, чем больше длина заготовок, поступающих в прокатку. Между тем большой вес заготовки диктуется требованием увеличения производительности стана. Вследствие же получающегося изменения размеров проволоки от одного конца к другому обычно вес заготовок, прокатываемых на проволочных станах Гарретта, ограничивается 90—100 кг и только как предел имеет 160 кг.

Если проволока прокатывается в мотках весом по 100 кг, то при диаметре ее в 5 мм длина мотка получается 670 м. В последнее же время на непрерывных станах дошли до веса мотка проволоки 200 кг (и даже до 260 кг), что даже при более крупном диаметре в 6,5 мм дает длину 770 м. Даже при скорости в 23 м/сек, какая бывает при прокатке проволоки на непрерывных станах, задний конец проходит через валки позже чем передний на 33 сек.; при меньших диаметрах проволоки запоздание прохождения заднего конца штуки против переднего может доходить до 70 сек. [37].

Понятие об увеличении толщины прокатываемого профиля в зависимости от увеличения длины штуки у чистового овала для проволоки Ø 6—12 мм можно получить из фиг. 39 и 40, а для случая прокатки круглого Ø 7,8 мм — из фиг. 46 [32].

Увеличение длины прокатываемых штук оказывается на уменьшении точности размеров при прокатке не только проволоки, но и других профилей меньшей длины, прокатываемых в виде полос (т.е. не в мотках). Этой причиной обуславливается повышение процента брака (или второго сорта) из-за выхода размеров за пределы допусков.

О том, какое может получаться увеличение второго сорта по указанной причине, можно судить по следующим примерным цифрам, приводимым М. Ру для круглого железа диаметром от 10 до 25 мм при условии, что допуски по диаметру равны $\pm 0,25$ мм.

При длине полос	18 м —	второго сорта получалось 4%
" "	25 м —	" " 6%
" "	50—60 м —	" " 7—10%

Эти цифры относятся к прокатке на клетях хорошей конструкции со станинами закрытого типа, дающих малую игру валков. При прокатке же в клетях с отъемными крышками, укрепляемыми болтами с чеками, в особенности, если, форсируя производительность, недостаточно нагревать металл, количество второго сорта может возрасти вдвое и больше [2].

Вследствие такого отрицательного влияния увеличения длины полос на точность их профиля, прокатывать полосы значительной длины, например, до 70 м, можно только в тех случаях, когда прокатная продукция идет по такому назначению, где не требуется особая точность (например, арматурное железо для железобетонных работ и др.).

В тех же случаях, когда от прокатной продукции требуется большая точность размеров, например, для железа, идущего на изготовление заклепок, а также для фасонных профилей, не рекомендуется прокатывать полосы длиною, превышающей 30—40 м, что и учитывают в настоящее время при проектировании новых станов. Несоблюдение этого условия может вызвать значительные колебания размеров прокатной продукции и даже появление заусенцев.

3. Влияние на точность перерывов во время работы и изменения темпов прокатки

Для равномерности профиля необходимо, чтобы процесс прокатки протекал в одинаковых условиях. Простои стана нарушают единообразие условий процесса прокатки и поэтому отрицательно отражаются на точности размеров продукции. Происходит это потому, что во время простоев, во-первых, металл, нагреваясь дольше, выдается из печей или нагревательных колодцев с температурой более высокой, чем та, которую он имеет при непрерывной выдаче штуки за штукой; во-вторых, валки более или менее значительно охлаждаются и сокращаются по диаметру. Обе эти причины действуют противоположно на толщину прокатываемой штуки: оттого, что металл после перерыва обычно имеет более высокую температуру, чем до перерыва, т.е. более мягок, игра валков получается меньше, что способствует уменьшению толщины прокатываемой штуки, а оттого, что во время простоя валки, охладившиеся, уменьшают свой диаметр, расстояние между валками увеличивается, что способствует утолщению штуки. В результате толщина штуки, прокатанной после перерыва, будет зависеть от соотношения величины изменения диаметра валков и величины изменения игры валков. Величины же этих изменений зависят от разных причин: от продолжительности перерыва, от величины повышения температуры металла, выдаваемого после перерыва из печи, от диаметра валков и степени их разогрева перед перерывом, величины игры валков (каковая обуславливается конструкцией клети и пр.) и других причин.

По наблюдениям М. Ру, относящимся к клетям, почти не имевшим игры, первая полоса, прокатанная после остановки стана в 20—30 мин., получалась толще последней полосы, прокатанной до остановки: при прокатке на стане 320 мм — на 0,2—0,3 мм и при прокатке на стане 650 мм — на 0,5—0,6 мм. Достигение той толщины профиля, которая была до перерыва, наступает после прокатки 250—300 м данного профиля; в течение

периода времени, соответствующего прокатке этого количества металла, валки, разогреваясь, восстанавливают тот диаметр, который они имели до перерыва [2]. Следовательно, если настройка клети соответствует нормальному разогреву валков и во время перерыва не изменяется, то в течение времени от момента возобновления прокатки до момента нормального разогрева валков полосы будут получаться ненормальной толщины.

О подобном изменении профиля прокатной продукции в связи с остановками стана говорит также инженер М. Галемин в отношении ж.-д. рельсов. При охлаждении валков, служащих для их прокатки, даже во время сравнительно небольших остановок, орошением их водой получается настолько значительное уменьшение диаметра валков, что оно заметно сказывается на толщине шейки рельса (и ширине головки). Во избежание этого явления нужно перед возобновлением прокатки после остановки стана опускать верхний валок на 0,5—0,7 мм и, кроме того, в перерывы не поливать валки водой [36].

Приведенные примеры показывают влияние на точность изменения диаметра валков, происходящее при перерывах в прокатке. Но диаметр валков колеблется не только при более или менее длительных перерывах в прокатке, но даже при тех постоянно повторяющихся паузах, которые имеют место между пропусками в валках следующих друг за другом полос. При обычной прокатке как профильного проката, так и листов, колебания диаметра валков незначительны и не влияют заметным образом на точность прокатной продукции. Эти колебания диаметра валков могут сказаться на точности продукции в особых случаях прокатки, а именно: в случае периодической прокатки, т. е. когда поперечное сечение прокатываемых полос не постоянно, а периодически изменяется во время каждого оборота валков. В этом случае колебания диаметра валков сказываются на точности размеров не поперечного сечения, а по длине. О таком случае говорит Э. Кирхберг.

При прокатке на одном стане спиц для вагонных колес оказалось, что спицы из одного и того же слитка получались разной длины (слиток весил 350 кг, и из него получилось 18 спиц, причем каждый оборот валков давал одну спицу). Из каждого слитка первые спицы оказывались длиннее чем нужно, а последнее — короче; разница между длиной первой и последней спицы доходила до 80 мм. При сравнении точно измеренной длины окружности валков с длинами получавшихся спиц оказалось, что только длины 8-й и 9-й спицы были приблизительно равны длине окружности валков, т. е. металл только этих спиц прокатывался и выходил из валков со скоростью их (валков) вращения. Первые же спицы имели длину большую, чем длина окружности валков, а последние спицы — меньшую. Этот факт показывает, что металл спиц из второй половины слитка отставал от окружной скорости валков (отрицательное опережение). Причина должна заключаться в том, что в течение периода прокатки каждого слитка температура валков колебалась от какого-то мини-

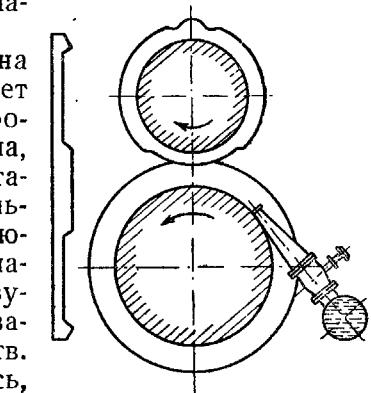
мума (обусловленного охлаждением в течение паузы между двумя слитками) в момент входления в валки переднего конца слитка и до какого-то максимума в момент выхода из валков заднего конца слитка. Разная температура валков обусловливала разную величину скольжения металла в валках, т. е. разную величину опережения, колебавшуюся от положительного значения в начале прокатки слитка до отрицательного значения в конце его прокатки.

Чтобы устранить этот дефект, подвели воду к нижнему валку для его охлаждения (фиг. 42). (Верхний же валок охлаждался и раньше). Регулируя силу струи воды, удалось поддерживать равномерную температуру валков, что способствовало получению спиц одинаковой длины [39].

Аналогично перерывам прокатки на точность профиля отрицательно влияет изменение установившегося темпа прокатки, нормального, так сказать, темпа, которому соответствует настройка стана, дающая профиль удовлетворительных размеров в пределах соответствующих допусков. Поясним, что под темпами прокатки в данном случае подразумевается частота выдачи слитков или заготовки из нагревательных устройств. Если условия нагрева не изменились, то более частой выдаче соответствует меньшая степень нагрева, а более редкой — большая степень нагрева. Всякое же изменение степени нагрева прокатываемого металла, как было рассмотрено раньше, отражается на размерах профиля.

Под темпом прокатки можно также понимать общую продолжительность времени, в течение которого проходит весь стан штука, выданная из печи или колодцев. Это время, в зависимости от могущих происходить разных задержек при передаче штуки от одной клети к другой или при задаче ее в тот или другой калибр, может колебаться. И в этом случае всякое изменение продолжительности времени прокатки, отражаясь на температуре прокатываемых штук, отражается и на размерах профиля.

Применительно к такому пониманию выражения „Темпы прокатки“ М. Ру приводит цифры, характеризующие влияние нарушения равномерности ритма прокатки для круглого $\varnothing 25$ мм, прокатывавшегося в полосах длиною 25 м на стане обыкновенной конструкции 320 мм (без обводок). На 100 шт. прокатанных полос получались в среднем следующие результаты: 60 полос прокатывалось без малейших задержек и имело точность до 0,1 мм; 20 полос прокатывалось с задержками в несколько секунд и имело разницу в размерах от 0,1 до 0,2 мм; 20 полос прокатывалось с задержками, несколько большими, и имело разницу в



Фиг. 42. Валки для прокатки вагонных спиц (Э. Кирхберг)

размерах от 0,2 до 0,3 мм и даже до 0,5 мм. Кроме того, как исключение, на 600—800 полос 2 и 3 полосы имели большие задержки и проходили чистовой калибр с температурой около 750°, давая при этом увеличение толщины до 1,0—1,5 мм [2].

4. Точность и автоматизация прокатки

Выше было сказано, что чем более постоянны все условия прокатки, в частности, ритм (темп) прокатки, а также чем более постоянны условия нагрева прокатываемого металла, тем более точных размеров может получаться прокатная продукция.

Но при прокатке на обычных станах и при нагреве в обычных нагревательных устройствах трудности получения

точного профиля в том то и заключаются, что трудно создать одинаковые условия для всех процессов нагрева и прокатки металла.

Иначе обстоит дело у новейших прокатных станов, где и нагрев и сам процесс прокатки механизированы и автоматизированы, чем создаются весьма постоянные условия всего технологического процесса прокатки.

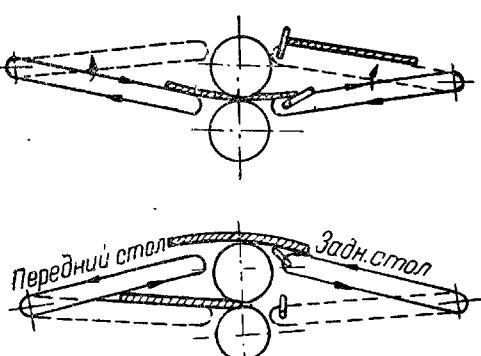
В качестве примера укажем на новейшие тонколистовые станы США для прокатки жести.

Фиг. 43. Схема работы качающихся автоматических столов на тонколистовых станах для прокатки жести (А. Виткин)

Постоянный равномерный нагрев металла для этих станов (сутунки, а затем пакетов — „четверок“) достигается тем, что эти станы обслуживаются механизированными и автоматизированными печами непрерывного действия. В этих печах равномерность продвижения нагреваемого металла достигается одним из трех известных способов: роликовым подом, цепным конвейером и, наконец, „шагающей балкой“. Процесс горения топлива автоматизирован.

Во время же самой прокатки условия одинаковости ритма и продолжительности прокатки пакетов создаются работой на чистовых клетях дуо, снабженных спереди и сзади автоматически действующими качающимися столами например, системы Wean'a (фиг. 43). При работе на таких клетях получается такая равномерность ритма прокатки, которая совершенно недостижима при прокатке вручную вальцовщиками.

Равномерности условий прокатки на таких станах способствует еще и то, что обычно у них применяются устройства для регулировки температуры валков во время прокатки [40].



VI. Влияние на точность размеров разных других факторов

Кроме рассмотренных главных факторов, влияющих на точность прокатки, имеется и ряд других факторов самого разнообразного характера, могущих влиять на точность. Упомянем кратко о некоторых из них.

Образование окалины на поверхности проката. Если образование окалины нежелательно во всех случаях прокатки, то в особенности оно нежелательно при точной прокатке. Образующаяся окалина может вдавливаться валками в поверхность прокатываемого металла, а затем в дальнейшем под влиянием каких-либо причин (изгиб, травление и др.) может отваливаться, оставляя выщербленные места на большей или меньшей площади поверхности. Следовательно, в таких местах поверхности толщина прокатной продукции будет отличаться от толщины в других местах, не имевших окалины или имевших ее в меньшей степени.

Контроль размеров прокатной продукции. Контроль, как такой, не может, конечно, изменять размеры уже прокатанной продукции, но при быстро проводимом тщательном контроле, при всяком изменении, нарушении точности размеров имеется возможность принимать немедленные меры для возобновления получения продукции с размерами в пределах установленных допусков.

Поскольку рационально поставленный контроль оказывает (хотя и косвенным образом) большое влияние на получение более точной прокатной продукции, на сокращение процента вторых сортов и брака из-за неточных размеров, остановимся несколько на этом вопросе.

Результаты контроля прокатной продукции зависят от следующих обстоятельств:

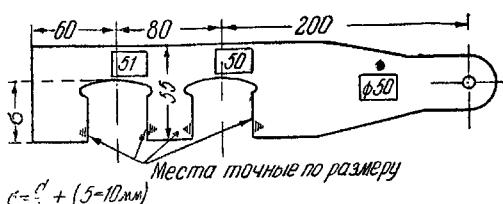
- 1) качества и точности контрольно-измерительного инструмента;
- 2) тщательности, с которой производятся измерения поперечных размеров продукции;
- 3) частоты измерений.

Второй фактор, конечно, не требует пояснений. Относительно третьего фактора (частоты измерений) следует только указать, что проверка размеров выходящей из стана продукции должна производиться как можно чаще; самое лучшее, если контролировать поперечные размеры (или толщину при прокатке листов) у каждой штуки. В противном случае, при больших интервалах в контроле продукции может получаться в промежутке между двумя проверками большое количество вторых сортов по размерам, если что-либо в стане расстроится вскоре после измерения штуки с удовлетворительными размерами.

Большое значение имеет качество и тип контрольно-измерительного инструмента. Поскольку в прокатной литературе на эту тему ничего не говорится, считаем полезным несколько остановиться на этом вопросе.

Для измерения и проверки размеров поперечного сечения

прокатной продукции применяются различные измерительные инструменты: кронциркули, микрометры, штангенциркули, шаблоны (калибры). Наилучшие результаты дают и наиболее удобными для массовых измерений профильной прокатной продукции являются шаблоны; поэтому остановимся на них, используя для этой цели сообщение инж. А. Качусова и Н. Губашева из практики прокатки стали на Златоустовском металлургическом заводе им. Сталина.



Фиг. 44. Шаблон для проверки размеров круга и квадрата 50 мм $\pm 2\%$ (Качусов, Губашев)

средством штангенциркулей. При измерении ими в условиях работы у прокатного стана очень легко было сделать ошибку в пределах 0,1 и даже 0,2 мм, что иногда приводило к забракованию продукции всей смены (кроме того, штангенциркули имеют и другие неудобства, как, например, быстрая разработка, что влечет неточные показания и др.).

Лучшие результаты начали получать, когда в 1932 г. завод перешел на измерение с помощью предельных шаблонов (калибров), представляющих собою пластинки с вырезами (гнездами), изготовленные из твердой стали (например, рессорной); эти пластины, кроме того, во избежание быстрого изнашивания закаливаются.

На фиг. 44 показан шаблон для контроля размеров круглой и квадратной стали размером 50 мм для случая, когда эта сталь может иметь допуск только в положительную сторону до $+2\%$, т. е. для стали размером от 50 до 51 мм¹. В калибр „50“ штука не должна входить (это — „непроходной“ или „минимальный“ калибр); в противном случае ее размер выходит за пределы отрицательного допуска. В калибр „51“ штука должна входить, причем если сталь круглого сечения, то шаблон должен иметь возможность поворачиваться на штифте.

На фиг. 45 показан шаблон для измерения полосовой стали 60 × 8 мм с допусками по ширине ± 1 мм и по толщине $\pm 0,3$ мм; минимальные (непроходные) гнезда здесь 59 мм и 7,7 мм и максимальные (проходные) — 61 мм и 8,3 мм.

¹ Обыкновенно для прокатной продукции даются допуски в обе стороны (\pm). Но в некоторых случаях допуски могут быть только в одну сторону, например, в сторону плюса (инструментальные стали).

Подобными шаблонами прокатная продукция измеряется в холодном (остывшем) состоянии.

Для возможности измерения в холодном состоянии требуется некоторое время (на отрезку под ножницами или пилой куска от вышедшей из валков штуки, охлаждение этого куска в воде); между тем очень часто нужно проверять размеры немедленно после того, как произведена регулировка положения валков, т. е. по еще горячему концу вышедшей из чистовой клети штуки.

Для этой цели на каждый размер прокатываемой стали, кроме шаблонов для измерения в холодном состоянии („холодных“ шаблонов), имеются подобные же шаблоны для измерения в горячем состоянии („горячие“ шаблоны).

У этих последних шаблонов ширина гнезд делается по суженным допускам (т. е. ближе к нормальному размеру) и, кроме того, с учетом усадки прокатанного металла при остывании.

Так, например, у шаблонов для круглой шарикоподшипниковой стали с диаметром 50 мм, прокатываемой только с положительным допуском $+1,7$ мм, ширина гнезд следующая: у „холодного“ шаблона 50 мм (непроходное гнездо) и 51,7 мм (проходное гнездо); у „горячего“ же шаблона ширина гнезд соответственно 50,5 и 51,4 мм. Суженность пределов ширины у „горячего“ шаблона способствует более тщательной и точной работе мастера и старшего вальцовщика и дает больше гарантии получения точных размеров продукции после ее остывания.

Для проверки шаблонов имеется набор контрольных стальных брусков из твердой закаленной стали, которые в свою очередь проверяются точными микрометрами или штангенциркулями.

Применение на Златоустовском заводе описанных шаблонов способствовало повышению точности прокатной продукции: если до 1932 г. в прокатном цехе описанного завода катали твердую качественную сталь с допусками $\pm 3\%$ (по старому ОСТ'у 8), то после 1932 г. цех главную массу своей продукции стал прокатывать с допусками $\pm 1,5 - 2,0\%$ и частично по особым заказам $\pm 1 - 1,5\%$ [41].

Так контролируются размеры профильного проката. Что касается листов, то толщину их удобнее проверять точными микрометрами.

Понятно, что какого бы рода измерительные инструменты ни применялись, точность их показаний должна достаточно часто проверяться, ибо от постоянного употребления они разрабатываются.

Что касается контроля размеров листов, то хорошие результаты в отношении увеличения точности толщины листов можно получать следующими весьма простыми мероприятиями, введенными с 1938 г. на листовых станах трио Лаута на Мариупольском заводе им. Ильича.

На этих станах до 1938 г. во время прокатки листов определение их толщины производилось измерением только одной продольной кромки. Конечно, при таком способе измерения вторая продольная кромка листа, вследствие нарушения параллель-



Фиг. 45. Шаблон для проверки размеров полосы шириной 60 ± 1 мм, толщиной $8 \pm 0,3$ мм (Качусов, Губашев)

ности бочек валков, могла по толщине отличаться от первой кромки, персонал же стана мог этого и не замечать. С 1938 г. на означенных станках ввели двухсторонний замер продольных кромок листов во время самого процесса прокатки (с одной стороны — старшим вальцовщиком; с другой — проводчиком или мастером).

Кроме того, чтобы вообще не допускать получения листов со значительной разницей в толщине по их ширине (увеличивающейся по мере выработки бочек валков), установили предельную величину этой разницы в 0,3 мм. Выполнение же этого требования осуществляется тем, что в течение смены периодически отрезают от выходящих из стана листов попечные планки, толщина которых тщательно проверяется по всей длине их (т. е. по всей ширине листа). Результаты измерений записываются в рапорт; если разница по толщине делается более 0,3 мм, то меняют средний валок и ставят другой с большей выпуклостью.

Наконец, для той же цели борьбы с разной толщиной листа по его ширине стали чаще менять средние валки: раньше их меняли через 6—8 рабочих смен, а с 1938 г. — через 3—5 смен; в связи с этим, если раньше с парой крайних валков работало 6—7 относящихся к ним валков (в комплекте), то с 1938 г. — 10—11 валков¹.

Температурные условия, при которых работает персонал стана. И слишком низкая и слишком высокая температура воздуха у стана неблагоприятно сказывается на качестве обслуживания прокатного стана и в первую очередь — на качестве настройки стана, что очень ухудшает точность размеров продукции. Так, например, на Белорецком заводе (Урал) зимой 1920 г. в последних числах ноября, когда температура упала до -35°C , на новом проволочном стане, могущем прокатывать 25—30 т в смену, было прокатано в первую смену после остановки на выходной день всего 0,5 т проволоки, которая вся по размеру оказалась браком или вторым сортом. (Остальной прокатывавшийся металл получился в виде недоката). Причина такого результата заключалась в том, что в неутепленном помещении температура у стана была тоже очень низкой, что мешало правильной настройке стана. В то же время вода, поступавшая на шейки и бочки валков, давала такое сильное парообразование, что вальцовщики чистовой линии даже плохо различали друг друга, а это сильно мешало согласованной, удовлетворительной работе.

Для создания удовлетворительных температурных условий у стана необходимо, чтобы здания прокатных станов были утепленными и, кроме того, имели вентиляционные установки, с агрегатами для охлаждения воздуха, могущие понижать температуру рабочих мест у стана на несколько градусов ниже температуры наружного воздуха в жаркое время лета.

¹ Инж. А. К. Савичев. Как достигнуто повышение производительности станов трио Лаута. „Теория и практика металлургии“, 1936 г., № 6.

Влияние ширины сортамента, прокатываемого на данном стане. Чем уже сортамент стана, тем больше специализируется персонал на прокатке немногих профилей и размеров, тем с большей в среднем точностью размеров выпускает стан продукцию, тем больший процент выхода продукции, удовлетворительной по точности размеров профиля, дает стан. Некоторые мелкосортные станы включают в свою программу прокатку проволоки. Обычно точность профиля проволоки, прокатываемой на таких станах, ниже точности проволоки чисто проволочных станов.

VII. Непрерывная автоматическая регулировка размеров профиля

Уже было сказано выше, что в некоторых случаях для устранения отрицательного влияния неравномерности температуры прокатываемых штук на точность их размеров прибегают к выравниванию их температуры во время самой прокатки путем промежуточного подогрева или охлаждения прокатываемых штук, чем достигается возможность получения прокатной продукции более равномерной толщины.

Заслуживает внимания автоматическая непрерывная регулировка размера прокатываемого профиля, при помощи которой в значительной мере устраняется отрицательное влияние на точность как неравномерной температуры металла, так и некоторых других причин (например, срабатывания подшипников валков).

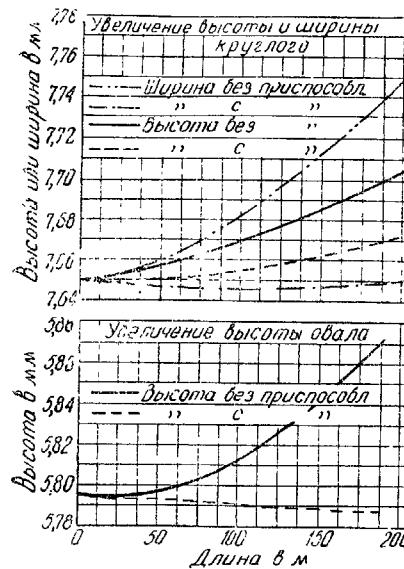
1. Автоматическое нажимное устройство А. Нэлля (A. Nöll'я)

А. Нэлль сконструировал для получения точных размеров круглых профилей особое нажимное устройство, устанавливающее на станинах чистового (предотдельного) овала и автоматически регулирующее толщину его. Как известно, размеры окончательного профиля в случае прокатки круглого в значительной степени обусловливаются размерами чистового овала. Размеры же чистового овала, т. е. его толщина и ширина, меняются в зависимости от изменения температуры прокатываемых штук, падающей от переднего к заднему концу штуки. Так как падение температуры вызывает увеличение уширения прокатываемого профиля, то если не принимать никаких мер, размеры чистового овала будут изменяться по длине штуки от переднего конца к заднему, что вызывает соответствующее изменение размеров окончательного профиля (в данном случае — круглого). Поэтому рассматриваемое нажимное устройство регулирует размеры (толщину) именно чистового овала.

Будучи установлено соответствующим образом для каждого случая, это устройство действует автоматически во время прохождения штуки через калибр в зависимости от изменения зазора между валками и от изменения величины уширения штуки (эти изменения происходят от понижения температуры).

Приведение в движение этого устройства и его остановка производятся самой проходящей штукой¹.

Для случая прокатки круглого $\varnothing 7,8 \text{ мм}$ точность профиля, получающаяся с применением



Фиг. 46. Кривые увеличения размеров овала и чистового круглого для $\varnothing 7,8 \text{ мм}$ в зависимости от длины мотка с применением и без применения регулирующего приспособления (A. Nöll)

еще описание автоматического устройства системы Днепропетровского металлургического института (ДМИ). Кафедрой прокатки Днепропетровского института в конце 1937 г. разработан проект и сконструирован аппарат для автоматической регулировки размера прокатываемого профиля по высоте с точностью до $0,01 \text{ мм}$. Принцип действия этого автоматического устройства следующий. У стана располагается фотоэлемент, который преобразует световую энергию проходящих мимо него раскаленных полос в электрическую. Это необходимо для того, чтобы автомат был наготове, когда прокатываются полосы.

В сеть фотоэлемента включено реле, которое, в случае отклонения высоты прокатываемой полосы от нормальной высоты, автоматически на ходу включает нажимное устройство стана, заставляя его автоматически вращаться, смотря по надобности, в ту или другую сторону. Если прокатываемая полоса имеет

¹ В статье A. Nöll'я, в которой он сообщает об этом регулирующем приспособлении, не приведено описание его устройства; только кратко упоминается, что устанавливается оно на крышках станции и что передача давления осуществляется посредством масла [32].

высоту в установленных пределах, нажимное устройство не включается.

Принцип устройства самого автомата довольно прост. На бочке двух валков вытачивается калибр шириной 25 мм с глубиной вреза в тело валка 40 мм . В этот калибр между верхним и нижним валками помещаются специальные металлические дуги с катящимися по верхнему и нижнему дну калибра роликами. Если расстояние между валками изменяется, то под действием катящихся роликов дуги соответствующим образом реагируют на систему рычагов, которые включают нажимное устройство стана для приведения расстояния между валками до размера высоты профиля.

Включение нажимного устройства производится посредством щетки, скользящей по двум медным пластинкам. При нормальной высоте прокатываемого профиля щетка находится в нулевом положении, и нажимное устройство не включено. Если же под влиянием какой-либо причины (подработались подшипники, несколько изменилась температура прокатываемого металла и др.) расстояние между валками, а следовательно, и высота прокатываемой полосы изменились, то щетка передвигается в ту или в другую сторону.

Если валки разошлись, щетка включает ток нажимного устройства в таком направлении, что нажимное устройство сближает валки до нулевого положения; если же валки сблизились против нормального расстояния, то щетка опускается ниже нулевого положения и, включая ток в другом направлении, заставляет нажимное устройство раздвинуть валки до нормального расстояния. Во избежание перерегулировки, т. е. излишнего сближения и раздвижения валков, имеется специальное тормозное устройство.

Те профили, которые при прокатке кантуются, могут регулироваться по двум измерениям: по высоте и ширине¹.

Днепропетровским металлургическим институтом под руководством проф. Чекмарева и инж. Добротворского разработан (в конце 1937 г.) еще проект полуавтоматической регулировки высоты профиля. Заключается он в том, что при изменении высоты прокатываемого профиля в большую сторону (если валки разойдутся) автоматически зажигается лампочка со знаком (+); при уменьшении же высоты профиля (если валки сблизятся) зажигается лампочка со знаком (-). Соответственно тому, какая лампочка зажигается, болтовщик посредством нажимного устройства устанавливает валки в нормальное положение [42]. В статье М. Генесина, из которой заимствовано приведенное описание автомата ДМИ, последний назван автоматом „для прокатки на минус“. Но, конечно, при соответствующей отрегулировке его он может служить вообще для точной прокатки в пределах между положительными и отрицательными допусками².

¹ По свидетельству М. Галемина, автомат ДМИ неоднократно проверялся на стане 320 мм завода им. Петровского и давал хорошие результаты.

² Прокатка на минус будет особо рассмотрена в конце данной книги.

В. ТОЧНОСТЬ РАЗМЕРОВ ЛИСТОВОГО ПРОКАТА

Все изложенное о влиянии различных факторов на точность размеров прокатной продукции относится в той или иной мере к прокату всех видов, но некоторые из рассмотренных факторов наиболее полно относятся к сортовому и вообще профильному прокату. Что же касается листового проката, то ввиду некоторых особенностей процесса прокатки листов условия получения точных размеров листов имеют некоторые очень характерные особенности. В особенности это касается тонких листов, на точность толщины которых влияют, кроме общих факторов, обуславливающих точность вообще всех видов проката, еще и другие дополнительные факторы. Кроме того и требования в отношении точности размеров, предъявляемые в некоторых случаях к листовой продукции, а именно, при прокатке тонких листов, значительно превышают требования, предъявляемые к другим видам проката. Так, например, если для сортового проката требуется точность до десятых долей миллиметра, то для тонких листов требуется точность до сотых долей миллиметра. Такая строгость требований к точности тонких листов вполне понятна, ибо при незначительной толщине листов каждая сотая миллиметра толщины ощутительным образом влияет на вес листов. Так, например, при прокатке листов толщиной 0,3 *мм* увеличение толщины их на 0,03 *мм* дает нежелательное увеличение веса на 10%. Поэтому будет целесообразно вопрос точности размеров листового проката рассмотреть еще дополнительно.

I. Особенности получения точных размеров листового проката

Под точностью размеров листового проката понимается возможно более равномерная толщина листов как в поперечном сечении, так и в продольном при возможно большем приближении этой толщины к требующейся. Главная трудность заключается в получении равномерной толщины в поперечном сечении.

На точность размеров листового проката влияют почти все те факторы, которые обуславливают точность размеров продукции, получаемой прокаткой в калиброванных валках.

Особенность же получения точных размеров листового про-

ката заключается в том, что некоторые факторы, вообще обуславливающие точность всех видов проката, при прокатке листов имеют особенно сильное, а иногда, как, например, при прокатке тонких листов, решающее значение.

К таким факторам относятся:

- 1) выработка (износ) поверхности валков (в смысле изменения профиля бочек валков);
- 2) состояние поверхности валков (в смысле степени гладкости их поверхности);
- 3) колебания диаметра бочек валков под влиянием разогрева и охлаждения валков.

Кроме того, при прокатке тонких листов на точность их размеров оказывают влияние следующие факторы, не играющие роли при профильной прокатке:

- 1) деформация прокатных валков;
- 2) изменение скорости прокатки;
- 3) скольжение листов друг относительно друга (при прокатке пакетами);
- 4) особенности процесса деформации металла в валках.

Степень влияния на точность размеров листов отдельных факторов второй группы различна. Особенно сильно влияет деформация валков. Что касается остальных факторов этой группы, то хотя влияние их на точность значительно меньше, чем влияние деформации валков, но тем не менее пренебрегать ими нельзя, и во всяком случае нужно отдавать себе отчет в значении каждого из этих факторов.

Чем тоньше прокатываются листы, тем большее значение имеют перечисленные факторы, в особенности принимая во внимание ту высокую степень точности размеров, которая предъявляется в настоящее время ко многим видам тонких листов. Так, например, если для листов, идущих на изготовление жести, и раньше требовалась довольно высокая точность толщины, а именно 0,05–0,06 *мм*, то в последнее время от этих листов требуется точность не менее 0,02 *мм*!

Для случая прокатки листов борьба с влиянием перечисленных факторов тоже имеет свои особенности.

II. Влияние на точность размеров поперечного сечения листов профиля бочки валков и состояния ее поверхности, обусловленных выработкой валков

По мере того, как валки работают, поверхность их бочек вырабатывается, причем больше посередине бочки, чем у краев, вследствие чего первоначальный профиль бочек валков изменяется. О том, как в течение рабочей недели изменяется профиль бочки валков, можно судить посредством записи кривизны профиля бочки особым прибором — индикатором.

Выработка поверхности валков отражается, во-первых, на состоянии поверхности листов, которые перестают быть гладкими и делаются шероховатыми, и, во-вторых, вызывает измене-

ние профиля, отражающееся на равномерности толщины листов. И то и другое, конечно, отрицательно влияет на точность размеров листов.

Рассмотрим, как отражается выработка валков на точности размеров толстых и средних листов и отдельно на точности размеров тонких листов.

1. Выработка валков при прокатке толстых и средних листов

При прокатке толстых и средних листов (т. е. листов толщиной примерно от 4 до 25 мм и толще) валки в сравнительно короткое время (например, в течение 5 суток) вырабатываются таким образом, что посередине бочки валков получается уменьшение диаметра (примерно на 1,0—1,5 мм).

К концам же бочки выработка постепенно сходит на нет. Эти дугообразные выработки на бочках валков вызывают соответствующую неравномерность толщины листов, а именно, утолщение листов посередине (в поперечном сечении).
Фиг. 47. Схема обточки среднего валка станов трио Лаута для толстых и средних листов (обточка "на конус")

С этим отрицательным влиянием неравномерной выработки валков в случае прокатки листов на станах трио Лаута борются следующим образом.

Так как средний валок, будучи меньшего диаметра и рабочая как при прохождении листа вверху, так и при его прохождении внизу, вырабатывается значительно быстрее верхнего и нижнего валков, то в течение кампании работы этих последних валков средний меняют несколько раз. Так, например, на толстолистовом стане завода им. Ильича (г. Мариуполь) верхний и нижний валок обычно работают по одному месяцу, средний же валок в течение этого времени меняется 10 раз¹. Верхний и нижний валок вытачиваются цилиндрическими, а средний валок, чтобы компенсировать все увеличивающуюся выработку верхнего и нижнего, обтачивают цилиндрическим только посередине, концы же бочки его стачивают „на конус“, как показано на фиг. 47, причем по мере замены средних валков коничность концов бочки все увеличивается, как это указано в следующей таблице:

№ среднего валка по порядку закладки	Величина конусности ($s \times a$) в мм	№ среднего валка по порядку закладки	Величина конусности ($s \times a$) в мм
1-й	0,2 \times 500	6-й	1,7 \times 1000
2-й	0,5 \times 1000	7-й	2,0 \times 1000
3-й	0,8 \times 1000	8-й	2,3 \times 1000
4-й	1,1 \times 1000	9-й	2,6 \times 1000
5-й	1,4 \times 1000	10-й	2,9 \times 1000 [43]

¹ Размер валков — 850/560/860 \times 2540 мм .

По тем же причинам аналогичным образом вытачиваются валки для среднелистового стана трио Лаута (750/550/750 \times 2400 мм) на Сталинском заводе (Донбасс). На этом стане средние валки меняются в течение периода работы верхнего и среднего валков 13 раз, причем первые два средние валка вытачиваются без конусов, а последующие валки — с все возрастающей коничностью, а именно: 0,2—0,4—0,6 мм и т. д., причем конические концы бочки имеют длину 600—700 мм [43].

Особенно тщательно приходится подбирать профиль валков при прокатке листов, от которых требуется несколько повышенная точность толщины, как, например, листов судовой стали. Для листов, идущих на изготовление судов, размеров, например, 1400 \times 4000 \times 4 мм , допуски по толщине равны $\pm 0,5 \text{ мм}$, а для более узких и коротких $\pm 0,25 \text{ мм}$.

Еще более трудными являются требования в отношении допусков по весу, которые для листов на суда обычной конструкции равны $\pm 5\%$ от теоретического веса листов, а для листов, идущих на суда легкой конструкции — от 0 до 5% (что соответствует допускам по толщине для листов толщиной, например, 4 мм в первом случае $\pm 0,2 \text{ мм}$ и от 0 до 0,2 мм во втором случае).

Достичь указанной точности в особенности трудно на станах старой конструкции. Так, например, на заводе им. Дзержинского в первое время освоения прокатки листов судовой стали в течение ряда месяцев 1936 г. из прокатываемых сотен тонн этой стали удовлетворительными по толщине оказывались только десятки тонн.

Только путем внимательного подбора профиля валков (на среднелистовом стане трио Лаута) удалось на этом заводе прокатывать листы судовой стали с требующейся точностью (конечно, при усилении внимания к настройке стана).

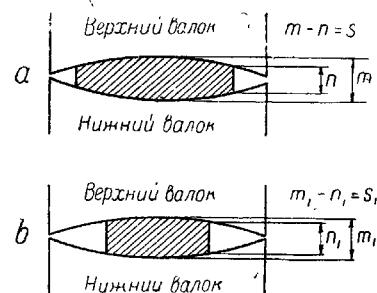
Другим способом для уменьшения вредного влияния постепенно увеличивающейся выработки валков на точность толщины листов является рациональная последовательность в выполнении имеющихся в цехе заказов на листы.

Эта рациональная последовательность заключается в том, что непосредственно после установки целого поправленного комплекта валков (тройки валков на станах трио Лаута или пары валков на станах дуо), т. е. когда валки еще не выработаны, из имеющихся заказов на листы разной ширины прокатывают сперва наиболее широкие листы, а затем, по мере все увеличивающейся выработки валков, переходят на прокатку все более и более узких листов. Понятно, что на узких листах одна и та же величина выработки бочек валков дает меньшую разницу в толщине кромок и средины листа, чем у широких листов (фиг. 48).

Отметим еще, что, прокатывая на валках с широкой бочкой узкие листы, необходимо направлять листы по возможности строго по середине бочек валков и не допускать, чтобы листы проходили ближе к какому-либо краю бочек; в последнем случае

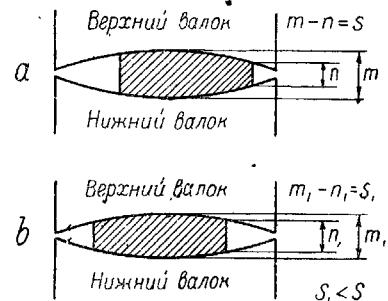
разница в толщине кромок будет получаться более значительной, чем в том случае, когда листы прокатываются на середине бочек (фиг. 49).

Помимо нарушения профиля бочек валков, вызывающего неравномерность толщины листов, выработка поверхности валков вызывает также и неравномерную, шерховатую поверхность листов, которая тоже в известном смысле нарушает равномерность толщины листов. Но, однако, при прокатке толстых и средних листов, принимая во внимание сравнительно большую величину разрешаемых допусков, с этим мирятся до тех пор, пока поверхность листов не начнет получаться слишком неровной и некрасивой. Тогда меняют весь комплект валков (тройку).



Фиг. 48. Прокатка листов на валках с одинаковой выработкой бочек:

a—прокатка широких листов, разница толщины кромок и середины— s ; *b*—прокатка узких листов, разница толщины кромок и середины— s_1 ; $s_1 < s$



Фиг. 49. Прокатка листов на валках с одинаковой выработкой бочек:

a—прокатка листа ближе к одной из шеек, разница толщины кромок и середины $m - n = s$; прокатка листа по середине бочек, разница толщины кромок и середины $m_1 - n_1 = s_1$, $s_1 < s$

2. Состояние поверхности валков для прокатки тонких листов

При прокатке очень тонких листов, имеющих толщину, измеряемую всего лишь несколькими десятками миллиметра (например, жесть), чрезвычайно важно иметь валки с безукоризненно гладкой и точной по диаметру поверхностью, а именно, с точностью даже не до десятых долей миллиметра, а до сотых долей. Такая поверхность валков достигается следующими мероприятиями:

1) Обточкой валков на точных вальцетокарных станках; в особенности важно, чтобы эти станки имели подшипники возможно более совершенной конструкции.

2) Приготовлением валков с полированной поверхностью, а не с поверхностью, получаемой просто обточкой резцами.

Для прокатки жести современные шлифовальные станки дают валки с зеркальной поверхностью, на которой не допускается ни одной риски. Одновременно конструкция таких станков дает возможность получать необходимую выемку на бочках валков с точностью до 0,025 мм, а на лучших станках — даже с точностью до 0,0025 мм (1/1000 дюйм) [45].

3) Постоянной поддержкой поверхности валков в безукориз-

ненно гладком состоянии во время работы их в стане. Для этой цели на лучших современных жестекатальных заводах применяются специальные устройства с полировочным камнем, который во время прокатки движется взад и вперед на особом тонком валу вдоль прокатных валков и на ходу чистит их поверхность. Посредством такого устройства можно не только поддерживать в надлежащем состоянии поверхность валков, но также путем шлифовки снимать нетронутые края бочки, если вырабатывается ее середина, т. е. можно поддерживать необходимый профиль валков [46].

Само собой понятно, что у валков для прокатки тонких листов выработка, которая еще допускается при прокатке, может иметь значительно меньшую величину, чем у валков для прокатки средних и тем более толстых листов. Если при прокатке тонких листов на валках получается сравнительно значительная выработка поверхности бочек, то, конечно, валки нужно сменить. Однако при прокатке тонких листов такого рода, как, например, кровельное железо, если на валках имеется выработка сравнительно небольшой величины, то в течение некоторого времени (нескольких смен) парализовать отрицательное влияние ее на равномерность толщины листов в поперечном сечении можно до известной степени посредством регулировки температуры бочек валков. В зависимости от температуры валков (неравномерной по всей длине бочки валка) они посередине и по краям бочек расширяются на разную величину, что отражается на профиле бочек валков. Изменяя температуру бочек валков в желаемом направлении, можно восстанавливать изменившийся вследствие выработки профиль валков, приближая его к нормальному. О способах регулирования температурой профиля бочек валков будет сказано в следующем разделе.

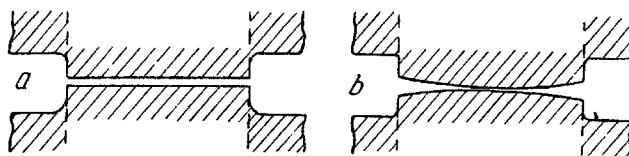
III. Изменение размеров диаметра бочек валков вследствие разогрева и охлаждения их

Вследствие нагрева валков прокатываемым металлом бочки валков утолщаются. Это утолщение, по понятным причинам, наибольшее посередине, к краям же оно уменьшается. Если валки выточить точно цилиндрическими в холодном состоянии, то, разогревшись при прокатке, они станут выпуклыми (фиг. 50). Листы, прокатанные на таких валках, будут иметь в поперечном сечении толщину по краям большую чем посередине.

При прокатке толстых и средних листов обыкновенно не считаются с получающимся под влиянием разогрева валков утолщением их бочки в средней части по сравнению с краями, так как относительная величина этого утолщения незначительна (по сравнению с толщиной прокатываемых листов). При прокатке этих листов преобладающим фактором, влияющим на точность толщины листов, является выработка поверхности валков, действующая в обратном по сравнению с разогревом направлении и быстро нейтрализующая влияние разогрева по

мере увеличения продолжительности работы валков с момента укладки их в стан после переточки.

Но при прокатке тонких листов, как, например, кровельное железо и т. п., это утолщение валков посередине бочки является серьезнейшим и даже решающим фактором, без учета влияния которого и принятия соответствующих мер нельзя получать равномерную толщину листов.



Фиг. 50. Изменение профиля валков для прокатки листов при их разогреве:
— в холодном состоянии—строго цилиндрическая поверхность бочек; — в разогретом состоянии—выпуклая поверхность бочек

1. Факторы, обуславливающие величину выпуклости бочек валков под влиянием изменения температуры валков

Величина получающейся от разогрева валка выпуклости бочки посередине или, вернее, величина превышения увеличения диаметра бочки валка посередине по сравнению с увеличением диаметра краев бочки, есть величина, зависящая в основном от температуры разогрева валков; температура же разогрева валков в свою очередь зависит от ряда факторов, а именно: степени нагрева прокатываемого металла, толщины, ширины и длины прокатываемых листов, длины бочек валков, диаметра валков, метода прокатки листов, интенсивности и равномерности процесса прокатки (теплов прокатки) и проч.

Чем больше диаметр валков, чем длиннее листы и чем они толще, тем больше получается выпуклость бочек. Чем горячее прокатываемый металл и чем интенсивнее производится прокатка, тем больше разогреваются валки и тем больше оять-таки получается выпуклость.

В отношении влияния способа прокатки напомним, что кровельное железо у нас в Союзе прокатывают двумя способами: по „уральскому способу“—„на холодных шейках“, т. е. с охлаждением шеек валков водой, и по „европейскому способу“—„на горячих шейках“, т. е. без охлаждения шеек водой, но при обильной их смазке.

Разница в температуре шеек в том и в другом случае, очевидно, соответствующим образом влияет на температуру тех участков бочки, к которым прилегают шейки, и следовательно, и на профиль бочки.

2. Мероприятия против изменения профиля бочек валков тонколистовых станов под влиянием разогрева

Чтобы нейтрализовать влияние разогрева валков на правильность профиля бочек валков, поступают двояким образом: во-

первых, вытачивают бочки валков с некоторой вогнутостью; во-вторых, во время работы валков различными способами регулируют температуру бочек валков.

а) Обточка валков с вогнутостью на бочках

Влияние разогрева валков при прокатке, изменяющего строго цилиндрическую поверхность валков на несколько выпуклую, заранее учитывается, и поэтому бочки валков для прокатки тонких листов вроде кровельного железа и листов, идущих для изготовления жести, вытачиваются не точно цилиндрическими, а с некоторой вогнутостью посередине, так что валки, будучи сложены в холодном состоянии, имеют просвет (щель), показанный на фиг. 51.

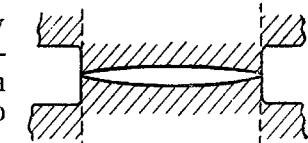
Величина просвета посередине бочек у валков для прокатки тонких листов в зависимости от вышеперечисленного ряда факторов делается в пределах от 0,2 до 0,6 мм.

При удачно выбранной величине выемки на валках возникающая от разогрева валков выпуклость уравновешивается, и поверхность валков получается строго цилиндрической, что способствует получению листов одинаковой по ширине листа толщины.

Вогнутость при обточке придается бочкам валков в том случае, если при прокатке валки сильно разогреваются (валки кровельных станов, где в одной и той же паре валков листы пропускаются подряд по много раз, что вызывает сильный разогрев их). Но при других условиях работы, если валки не испытывают значительного разогрева, то они могут вытачиваться не с вогнутыми бочками, а, наоборот, с выпуклостью на бочках. Так, например, верхние рабочие валки (1680×610 мм) рабочих клетей непрерывного тонколистового стана „Запорожстали“ (имеющего десять последовательно расположенных клетей кварты), которые при прокатке благодаря обильному охлаждению почти вовсе не разогреваются, вытачиваются со следующей выпуклостью посередине бочки: у клетей № 2, 3 и 4—0,33 мм; у клетей № 5, 6 и 7—0,3 мм и у последних клетей № 8, 9 и 10—0,25 мм. Нижние валки во всех клетях вытачиваются строго цилиндрическими. (Можно, конечно, требуемую величину выпуклости валков распределить поровну между верхним и нижним валками, но проще один валок вытачивать строго цилиндрическим, а другому давать всю величину необходимой выпуклости. Для равномерности толщины листов не играет никакой роли тот способ, по какому вытачиваются валки).

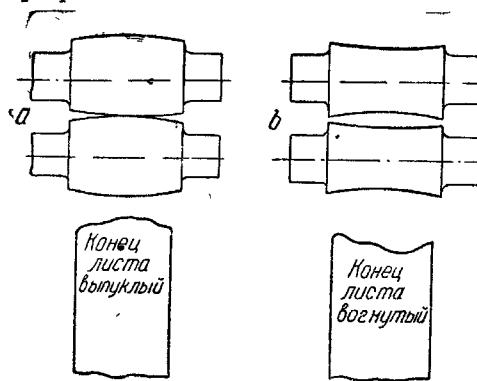
б) Регулировка профиля бочек валков посредством изменения температуры их разогрева

Если бы прокатка (тонких листов) протекала в совершенно неизменных условиях, обеспечивающих постоянную температуру, до которой разогреваются во время работы валки, то удачно



Фиг. 51. Обточка валков для прокатки тонких листов (с вогнутостью поверхности бочек)

выбранной при обточке вогнутости бочек валков было бы достаточно для получения листов равномерной толщины. Но условия при прокатке обыкновенно непостоянны, и температура, до которой разогреваются валки, колеблется под влиянием целого ряда факторов, которые были перечислены раньше, толщины и длины прокатываемых листов, степень нагрева металла, интенсивности (теплов) прокатки и проч. В результате, по какому бы профилю ни выточили бочки валков, профиль валков будет колебаться, а следовательно, равномерность толщины листов в поперечном сечении будет нарушаться.



Фиг. 52. Влияние степени разогрева валков на профиль их бочек и на вид концов прокатываемых листов:

a—разогрев выше нормального; *b*—разогрев ниже нормального

стые" валки, в валках "поло"); листы же, прокатываемые в таких валках, имеют посередине толщину большую, чем по кромкам, причем концы листов получаются с удлинениями по краям, с "ушами" (фиг. 52, *b*).

(Подобные же изменения очертаний концов листов вызываются также и постепенной выработкой валков: если вновь заложенные валки сначала дают листы, имеющие концы, как на фиг. 52, *a*, то через несколько дней работы концы принимают форму по фиг. 52, *b*).

Чтобы нейтрализовать отрицательные последствия изменений профиля от колебаний температуры бочек валков, необходимо каким-нибудь способом регулировать температуру валков в зависимости от изменяющихся условий прокатки таким образом и в такой степени, чтобы профиль валков оставался постоянным. Способов регулировки профиля валков для прокатки тонких листов имеется несколько; основаны они на чрезвычайной чувствительности профиля валков к изменениям как температуры самих бочек валков, так и температуры шеек валков. Регулировать профиль бочек валков температурой валков можно следующими способами:

- 1) изменением степени нагрева металла;
- 2) изменением температуры шеек прокатных валков;
- 3) охлаждением или подогревом бочек валков тем или другим способом (водой, паром, газом и проч.).

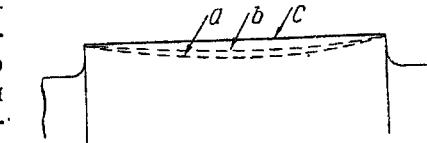
Так как без регулировки температуры валков, прокатывающих тонкие листы, невозможно получать равномерную в поперечном сечении толщину листов, то остановимся несколько подробнее на способах регулировки температуры валков.

Регулировка профиля валков изменением степени нагрева прокатываемого металла. Если выработка валков для тонких листов увеличивается, то устранять (в некоторых пределах) влияние этого увеличения выработки на толщину прокатываемых листов можно, повысив температуру нагрева металла (сутунки), идущего в прокатку. При прокатке нагретой сутунки вместе с разогревом и увеличением диаметра середины бочек валков происходит, конечно, разогрев и увеличение диаметра краев бочки, но увеличение диаметра середины бочек получается более значительное, чем краев бочек. Получающаяся разница величины увеличений диаметра на середине бочек и у краев их тем больше, чем выше температура прокатываемой сутунки. Нормальная температура нагрева сутунки должна вызывать такую разницу между величинами увеличений диаметров посередине и у краев, которая компенсируется величиной вогнутости бочек валков, даваемой новым валкам при их обточке. Но это превышение увеличения диаметра посередине бочек против увеличения диаметров по краям их, если температура нагрева сутунки будет нормальной, окажется недостаточным, чтобы компенсировать ту увеличенную вогнутость поверхности валков, которая получается при выработке валков в процессе работы их. Поэтому, если не принимать мер, то при увеличении выработки валков листы будут получаться более толстыми посередине, чем у продольных кромок.

В таких случаях (при увеличении выработки валков) прибегают к прокатке сутунки с несколько более высоким (по сравнению с нормальным) нагревом. Тогда более значительное увеличение диаметра в середине бочек валков по сравнению с их краями может компенсировать увеличенную вогнутость бочек валков. Вышесказанное схематически иллюстрируется фиг. 53.

Устранению влияния на равномерность толщины листов значительной выработки валков посредством прокатки более высоко нагретой сутунки одновременно способствуют еще тем, что (как это будет рассмотрено дальше) шейки валков при этом держать холоднее.

Регулировка профиля валков посредством изменения температуры шеек валков. При прокатке тонких листов по способу "на горячих шейках" применяют единственный в своем роде способ для регулировки точности раз-



Фиг. 53. Изменение профиля валка с большой выработкой (для прокатки тонких листов) в зависимости от степени нагрева прокатываемой сутунки: *a*—профиль в холодном состоянии; *b*—профиль при разогреве прокатываемой сутункой, нагретой до нормальной температуры (вогнутость не совсем исчезает); *c*—профиль при разогреве прокатываемой сутункой, нагретой выше нормальной температуры

меров получаемой продукции, т. е. в данном случае — для регулировки точности толщины листов. Этот способ заключается в изменении температуры шеек валков, прокатывающих тонкие листы.

Пусть шейки валков при прокатке, например, жести имеют температуру 300—350° (так что смазка шеек слегка дымится). Если почему-либо валки разбухнут посередине больше нормальной величины („тянут серединой“) и листы посередине получаются тоньше, чем у кромок, то шейкам дают возможность нагреться выше их нормальной температуры. Этого можно достичь уменьшением количества подкладываемой смазки на шейки или же уменьшением подвода воды в трубки, залитые в плитах-вставках, укладывающихся в подушку под нижний подшипник нижнего валка или над верхним подшипником верхнего валка (если, конечно, такие плиты-вставки имеются).

Если же посередине бочек валков получается вогнутость („слабина“) и пакет листов посередине получается толще, чем по краям, то прибегают к некоторому охлаждению шеек валков. Этого можно достичь путем усиленного прибавления смазки на шейки валков или же усиливанием охлаждения подшипников посредством увеличения подвода воды в трубки плит-вставок.

Первый способ изменения температуры шеек валков (посредством изменения количества смазки на шейках) применялся, например, на тонколистовых станах завода им. Коминтерна; второй же способ (посредством изменения подачи количества воды в плиты-вставки) — на Лысьвенском заводе.

(Плиты вставки соответствуют по длине и ширине размерам нижней стороны подшипников).

О втором способе регулировки температуры шеек говорит М. А. Голованов [47].

В обоих случаях изменение степени нагрева шеек быстро передается прилегающим к ним частям бочек и вызывает увеличение или уменьшение диаметра бочек по краям, что дает выравнивание профиля бочек в желаемом направлении.

Конечно, такой способ регулировки толщины листов требует большого навыка.

О том, какое влияние оказывает температура шеек валков на профиль бочек валков, а следовательно, и на толщину листов, видно из следующего примера. При прокатке кровельного железа по способу работы „на горячих шейках“ достаточно случиться перерыву в работе продолжительностью в 3—4 минуты, как из-за изменения установившихся температур шеек и бочек валков и вызванного этим изменения установившегося температурного взаимодействия между шейками и бочками валков „трястется профиль“ валков, а это обстоятельство вызывает изменение толщины прокатываемых кровельных листов.

Регулировка профиля валков охлаждением или подогревом их водой, паром, газом и пр. При прокатке тонких листов с целью предупреждения чрезмерного разогрева валка, вредного для прочности валков, применяется

охлаждение их различными способами: просто водой, паром или водой, распыленной посредством воздуха. Однако, кроме предупреждения чрезмерного разогрева валков, этими способами одновременно производится регулировка профиля бочек валков, поскольку та или другая среда (вода, пар и проч.), изменяя температуру валков, этим самым вызывает и изменение профиля бочки валков. Приведем описание различных способов регулировки профиля валков посредством охлаждения или разогрева их бочек какой-либо средой.

Регулировка профиля валков пульверизированной водой. Очень хорошие результаты, как в смысле стойкости валков, так и в отношении повышения точности толщины листов (кровельных) получаются при охлаждении валков посредством распыленной воздухом (пульверизированной) водой. Такой способ начали применять в 1937 г. на Верх-Исетском заводе. Давление воздуха и воды в зависимости от температуры, до которой разогреваются валки, регулируется по показаниям манометров, чем регулируется температура, а значит и профиль каждого валка клети. Одновременно получается постоянство температуры шеек, что тоже способствует поддержке необходимого профиля бочки валков, и в результате увеличивается точность толщины прокатываемых листов. Колебания в толщине листов получаются не более 0,01—0,02 мм [48].

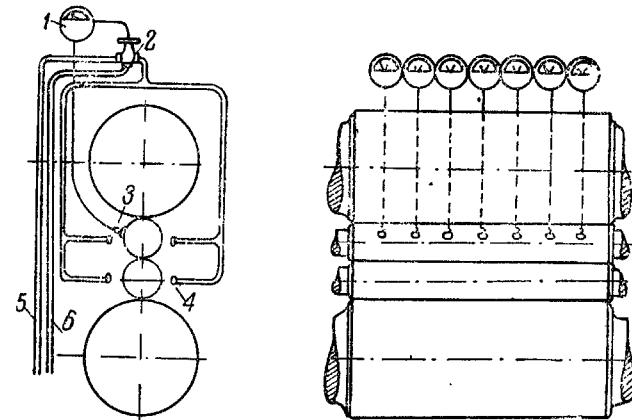
Регулировка профиля валков газом. Валки могут не только слишком разогреваться, но также и охлаждаться ниже нормальной температуры (при перерывах, замедлении темпов прокатки), что тоже изменяет их профиль. Чтобы избежать этого изменения профиля валков, при прокатке тонких листов применяют подогрев валков до необходимой температуры посредством газовых горелок. Регулируя отдельные горелки, расположенные вдоль бочки валка, можно регулировать в желаемом направлении как температуру всего валка и весь его профиль в целом, так и его отдельные части, если, например, одна половина или часть бочки валка выработается больше другой. Пуская горелки на соответствующей части бочки валков, можно поднимать температуру этой части, выравнивать профиль валков и этим самым получать листы более равномерной толщины [49].

Регулировка температуры валков совместно газом и паром. Лучшие результаты в смысле поддержки необходимого профиля бочек валков получаются в том случае, если регулировка их температуры производится в обоих направлениях, т. е., если, смотря по надобности, или охлаждают валки или подогревают их. Такая регулировка температуры валков производится при помощи установок, которые, смотря по желанию, могут подводить к валкам и пар и газ. Если валки слишком разогреваются, то на них пускается пар; если, наоборот, валки охлаждаются ниже нормальной температуры, то включаются газовые горелки. (Эти операции может производить вальцовщик, работающий у клети).

Лица, посещавшие прокатные заводы США, сообщают, что

там сотни клетей, прокатывающих жесть и кровельное железо, имеют регулировку температуры валков указанным способом посредством газовых горелок и пара.

Автоматическая регулировка температуры валков для прокатки тонких листов. Все описанные способы поддержки температуры валков в известных пределах посредством пара, воды, газа и пр. производятся вручную и имеют общий недостаток, свойственный вообще всем периодически повторяющимся процессам, а именно: они отличаются неравномерностью получающейся температуры бочек валков и, как следствие этого, не могут обусловить должного постоянства профиля валков во время работы.



Фиг. 54. Схема устройства для автоматической регулировки температуры валков для холодной прокатки листов:

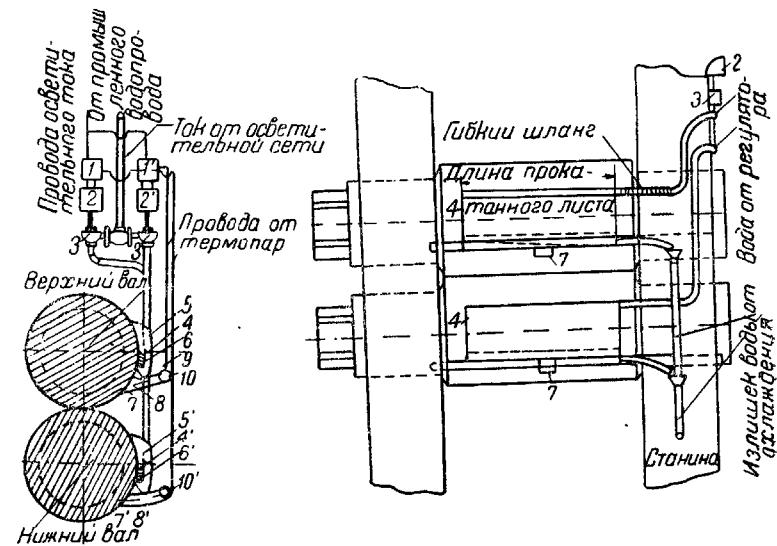
1—регистрирующие и регулирующие аппараты; 2—трехходовой регулирующий клапан; 3—поверхностная термопара; 4—распыливающие форсунки; 5 и 6—горячая и холодная среда (Loyd-Jones)

Большое будущее должно принадлежать автоматическому способу регулировки температуры валков, а следовательно, и регулировке профиля валков для прокатки тонких листов. Этот способ пока находит применение только в отношении валков для холодной прокатки. Однако, можно полагать, что нет принципиальных возражений и непреодолимых технических препятствий к применению этого способа для регулировки профиля валков тонколистовых станов для горячей прокатки.

На основании этого будет полезно познакомиться со схемой устройства и действия очень остроумной установки для автоматической регулировки температуры валков при холодной прокатке широких тонких полос и листов. Такая установка показана на фиг. 54.

По длине рабочих валков установлены на равных расстояниях температурные контакты, прижимающиеся к валкам и скользящие по ним при их вращении. Эти контакты соединены с регистрирующими и контролирующими приборами. Регулирующие

приборы приводят в действие трехходовые контрольные вентили, которые подводят к каждому участку валка или холодную, или горячую жидкость, или их смесь. (Для каждого контакта имеется отдельный контрольно регистрирующий прибор и вентиль). Охлаждающая и нагревающая жидкости, отработав, собираются в приемнике под станом, из которого смесь затем проходит в расположенный ниже особый резервуар; из этого резервуара жидкость, пройдя через фильтр, выкачивается в соответствующие нагревающие и охлаждающие устройства. В результате



Фиг. 55. Схема установки для автоматической регулировки поверхности валка при горячей прокатке:

1—усилитель тока термопар (реле); 2—мотор или электромагнит; 3—регулирующий клапан; 4—кожух охладителя; 5—бронзовая камера; 6—асбесто-проводочные щетки; 7—кожух термопар; 8—термопары излучения; 9—пружина для поддержания в контакте охладителя с верхним валом; 10—траверзы для укрепления охладителя и термопар (А. А. Горшков)

каждый участок валка сохраняет более или менее точно ту температуру, которая задается ему посредством регулирующего устройства.

Пусть, например, регулирующее устройство поставлено на 125°, т. е. желательно поддерживать температуру валка равной 125°. Тогда, если при прокатке температура валка начнет подниматься выше 125°, контрольный вентиль, автоматически действуя, подводит на валок охлаждающую жидкость в тем большем количестве, чем больше повысилась температура соответствующего участка валка. Если же какой-либо участок валка (или весь валок) начнет охлаждаться ниже 125° (например, во время какого-либо перерыва в прокатке), то тот же вентиль автоматически будет доставлять на валок горячую жидкость.

Если все регулирующие устройства установить по всей длине

валков на 125°, то эта температура с большей или меньшей точностью и будет поддерживаться в валках, и валки будут иметь цилиндрическую поверхность.

При наличии такой регулирующей установки нагрев подшипников не оказывает влияния на правильность профиля бочек валков [50].

Исходя из принципа действия описанного устройства в последнее время инж. А. А. Горшков предложил автоматическую установку для регулировки температуры валков стана дуо для горячей прокатки тонких листов [51].

Хотя инж. А. А. Горшков свою установку (показанную на фиг. 55) предназначает для регулирования температуры валков с целью предотвращения поломок их из-за чрезмерного повышения их температуры, но одновременно с этим, конечно, нужно рассчитывать и на сохранение постоянного профиля валков.

3. Неравномерность толщины листов при работе на вновь заложенных валках или после длительных перерывов

Посколько величина вытачиваемой выемки в валках для прокатки тонких листов назначается в соответствии с расширением валков, получающимся при установленном процессе прокатки, а в первый период работы вновь заложенных валков или же после длительных остановок стана нормального разогрева валков еще нет, то первые листы в этих случаях получаются утолщенными посередине.

С неточностью толщины листов, вызываемой этой причиной, борются двумя способами.

Первый способ заключается в том, что после смены валков или после длительных остановок в первые часы прокатывают более узкие и более толстые, чем normally, листы и даже вместо листов прокатывают полосы. Так, например, на заводе им. Коминтерна (г. Днепропетровск) на станах, служащих для прокатки кровельных листов ($0,5-0,6 \text{ мм} \times 730 \text{ мм}$) и жести ($0,26-0,30 \text{ мм} \times 525 \text{ мм}$) сначала прокатывают полосы толщиной $1,5-2,0 \text{ мм}$ при ширине $250-400 \text{ мм}$, и только через несколько часов, когда валки, постепенно разогреваясь, получат normalный профиль, переходят на прокатку normalных кровельных листов или жести [52].

При прокатке на валках, профиль которых еще не успел стать строго цилиндрическим, а представляет вогнутую кривую, разница между толщиной середины листа и его кромками в случае прокатки узких листов получается, конечно, меньше, чем при прокатке широких листов. Получается аналогия со случаем прокатки на валках с сильно выработавшейся (по середине) поверхностью, когда по мере увеличения выработки валков переходят на прокатку более узких листов.

Прокатывать же вначале более толстые листы (притом узкие) рационально еще потому, что одна и та же абсолютная разница в толщине середины и кромок листа в случае более толстых

листов составляет меньшую относительную величину (по отношению ко всей толщине листов); поэтому вытяжка середины и вытяжка краев листа не слишком отличаются друг от друга, т. е. толстый лист тянется более равномерно, чем широкий.

Вторым способом получения листов удовлетворительного профиля сразу после установки новых валков является предварительный, до начала прокатки, разогрев бочек валков (в клети или перед закладкой валков в клеть) тем или другим способом до normalной температуры прокатки (газовыми горелками, электричеством), так что прокатка начинается на валках, сразу имеющих требующийся профиль. Основной причиной, побуждающей производить предварительный разогрев валков, является желание уменьшить опасность поломок валков. Эта опасность особенно велика в начале работы валков вследствие напряжений, возникающих в валках при резком разогреве их прокаткой, но при этом облегчается также и получение сразу точного профиля.

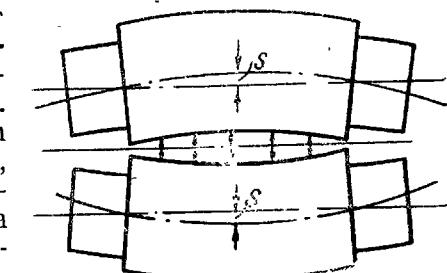
IV. Деформация валков и станин с их деталями при листовой прокатке

При листовой прокатке, при прохождении через валки листов или заготовки для листов, в клети возникают, конечно, все те деформации, которые имеют место вообще при всякой прокатке (деформация станин с деталями, находящимися в них, и деформация валков).

При листовой прокатке особенно значительное влияние на точность прокатки оказывает деформация валков.

1. Деформация валков

При прохождении листов или заготовки для листов через валки цилиндрическая поверхность валков не сохраняет вполне точно тот профиль, который дается ей при обточке, так как от противодавления со стороны прокатываемого металла валки подвергаются упругой деформации. Эта упругая деформация валка проявляется двояко. Во-первых, деформация выражается в изгибе валков, так как они, имея на шейках две точки опоры, изгибаются подобно балке, подверженной действию равномерно распределенной нагрузки. Валки при этом изгибаются по дуге с очень большим, конечно, радиусом, давая некоторую стрелу прогиба (фиг. 56). Во-вторых, бочки валков (а также и их шейки) сжимаются по поверхности в радиальном направлении. Обе эти деформации, складываясь, изменяют профиль щели между вал-



Фиг. 56. Схема изгиба валков при прокатке листов

ками. Если бы до прохождения листа через валки щель между валками была ограничена строго параллельными прямыми, то при прохождении листа она окажется ограниченной двумя вогнутыми внутрь валков кривыми, т. е. посередине щель будет шире, чем по краям.

a) Изгиб валков

Величина прогиба валков (стрела изгиба) изменяется в зависимости от ряда факторов, имеющих место при прокатке, а именно, она возрастает:

- 1) при увеличении давления на каждый сантиметр ширины листа (например, от увеличения обжатий за пропуск или от падения температуры прокатываемого металла);
- 2) при увеличении ширины листов;
- 3) при увеличении длины бочки валков;
- 4) при уменьшении диаметра валков;
- 5) при работе на сильно разогревшихся валках вследствие уменьшения величины модуля упругости материала валков.

Точное определение стрелы прогиба валков непосредственным измерением весьма затруднительно. Приближенно можно определить ее расчетным путем. При этом нужно отметить, что обычная теория изгиба балки для случая изгиба прокатных валков неприменима, так как отношение величины длины бочки валков к диаметру бочки сравнительно невелико. Кроме того, недостаточно исследованы упругие свойства материала чугунных валков для прокатки тонких листов. Чугунные валки, как известно, состоят из трех слоев разных свойств: отбеленного наружного слоя, сердцевины из серого чугуна и промежуточного слоя. J. Casswell приводит следующую формулу для определения стрелы прогиба валка для случая прокатки листов:

$$d = \frac{Wb}{5,1 \cdot E \cdot D^4} (8L^3 - 4Lb^2 + b^3) \text{ см},$$

где W — нагрузка на 1 см длины щели между валками (в m);

b — ширина прокатываемого листа (в cm);

L — расстояние между точками опор валка в cm , причем для верхнего валка оно равно расстоянию между осями нажимных винтов, а для нижнего валка оно немного меньше расстояния между его подушками;

E — модуль упругости материала валков;

D — диаметр бочки валка в cm .

Применяя эту формулу для определения стрелы прогиба при первом пропуске „восьмерки“ при прокатке жести для верхнего валка тонколистового стана, имеющего диаметр бочки 56 см и длину бочки 76 см, причем расстояние между точками опор валка 100 см, нагрузка W на сантиметр длины принимается равной 8,8 m и модуль упругости материала валков $E = 1570 m/cm^2$, J. Casswell находит, что возможная стрела прогиба верхнего валка $d_1 = 0,17 \text{ mm}$; для нижнего же валка стрела прогиба

$d_2 = 0,152 \text{ mm}$ (несколько меньше, чем для верхнего валка, так как у нижнего валка расстояние между точками опоры несколько меньше, чем у верхнего валка).

Таким образом общий прогиб валков, т. е. расхождение их по середине бочек, равняется $0,17 + 0,152 = 0,322 \text{ mm}$, т. е. имеет довольно значительную величину, в особенности по сравнению с незначительной толщиной многих видов листов, прокатываемых на тонколистовых станах (жесть и проч.).

Вследствие изгиба валков, а также отчасти вследствие сжатия поверхности их на листовых станах duo прокатывать тонкие листы поодиночке можно только до известного предела. Листы же толщиной ниже этого предела, например, кровельное железо, а тем более жесть, прокатывать поодиночке невозможно, и приходится в таких случаях прибегать к способу прокатки посредством складывания листов в пары, четверки, шестерки, восьмерки.

Прокатка поодиночке невозможна потому, что если валки даже привести в соприкосновение вплотную по всей длине их бочек, то при прохождении листа через валки, если бы последние даже не разошлись по краям (а это тоже невозможно вследствие игры деталей, помешающих в станинах), то посередине они под влиянием изгиба разойдутся настолько, что получить необходимую малую толщину листа невозможно.

б) Сжатие поверхностного слоя бочек валков

В момент прохождения через валки прокатываемого металла (листов), под влиянием возникающего давления со стороны металла на бочки валков, поверхностный слой бочек, соприкасающийся с металлом, не остается абсолютно неизменным, а сжимается на некоторую величину.

По этой причине кривизна поверхности бочек валков в месте соприкосновения валков с металлом изменяется, а именно — увеличивается. Это изменение кривизны поверхности бочек валков имеет место только в момент прохождения металла через валки. По окончании же прохождения металла через валки под влиянием упругости материала валков поверхность их принимает свою первоначальную форму.

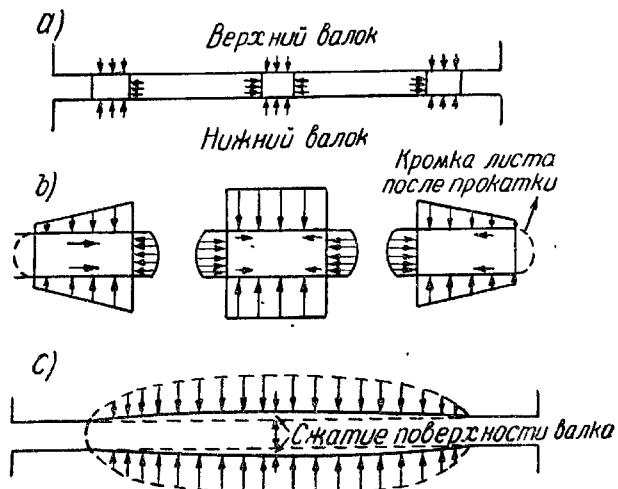
Указанное явление сжатия поверхностного слоя валков известно как у валков, служащих для холодной прокатки, так и у валков, служащих для горячей прокатки листов.

Если при горячей прокатке листов валки значительно разогреваются, то при прочих равных условиях (одинаковое давление и пр.) сжатие поверхностного слоя у валков для горячей прокатки должно быть больше, чем у валков для холодной прокатки, так как твердость материала поверхности валков (отбеленного чугуна) при температурах выше 400—450° значительно уменьшается по сравнению с твердостью, имеющей место при температурах до 400°.

Схема действия сил, вызывающих при прокатке сжатие по-

верхностного слоя валков и изменение профиля их, показана на фиг. 57. Как видно из фиг. 57, а, поверхность валков при прохождении металла сжимается неодинаково по всей ширине листа, а больше посередине и меньше у краев, в результате чего профиль валков (взятый в сечении, проходящем через оси верхнего и нижнего валков) принимает вид некоторой кривой (конечно, очень пологой).

Происходит это потому, что для частей листа, находящихся посередине и возле середины его, давление на них производится со всех четырех сторон (сверху и снизу от валков и с обоих



Фиг. 57. Схема сжатия поверхности валков (J. Casswell)

боков от соседних участков сжимаемого металла). Части же листа, расположенные у его продольных краев, испытывают давление только с трех сторон (сверху и снизу от валков и с одного бока со стороны участка металла, расположенного ближе к середине); с наружных сторон края листа не испытывают давления и могут расширяться в этом направлении.

Распределение давлений показано на фиг. 57, б. Результат суммирования всех давлений и получающейся вследствие этих давлений кривизны поверхности валков показаны на фиг. 57, в.

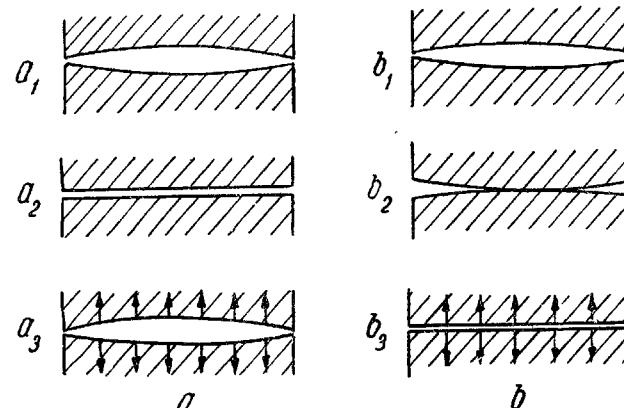
2. Мероприятия против влияния деформации валков на равномерность толщины листов

Противодействовать влиянию изгиба валков на равномерность толщины листов, казалось, можно было бы посредством увеличения диаметра валков.

Однако, это увеличение не может уничтожить неравномерность толщины листов, так как по практическим причинам диаметр валков для прокатки тонких листов заключается в довольно ограниченных пределах, а именно 550—700 мм (у обычно-

венных станов с клетями дуо); кроме того увеличение диаметра валков не может устранить сжатия поверхности валков. Поэтому влияние деформации валков на равномерность толщины листов устраивается другими путями.

Во-первых, чтобы уничтожить влияние изгиба валков на равномерность толщины листов, вогнутость поверхности валков при их обточке делается с учетом не только величины расширения валков при нагреве их во время работы, но и с учетом прогиба валков от давления прокатываемых листов. Расширение валков от нагрева уменьшает толщину щели между валками в средней части валков больше, чем по краям, а изгиб валков, наоборот, действует в противоположном направлении, т. е. увеличивает щель между валками больше посередине, чем по краям.

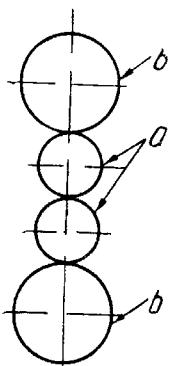


Фиг. 58. Изменение профиля валков для прокатки тонких листов под действием разогрева и изгиба:
а—при слишком большой выемке валков; б—при надлежащей выемке валков; а₁ и б₁—профили валков в холодном состоянии; а₂ и б₂—профили валков, разогревшихся до нормальной температуры до прохождения штуки через валки; а₃ и б₃—профили валков, разогревшихся до нормальной температуры в момент прохождения штуки между валками

Если бы величина вытачиваемой вогнутости бочки валков точно соответствовала только разнице расширения от нагрева бочки валков посередине и по краям, то валки, разогревшись до температуры, соответствующей нормальному темпам прокатки, имели бы перед задачей в них штуки строго цилиндрическую поверхность. Но под влиянием последующего изгиба валков от давления при прокатке толщина листов получалась бы неодинаковой, а именно: большей посередине и меньшей по краям. Поэтому, чтобы листы получались равномерной толщины, бочки валков вытачиваются с вогнутостью несколько меньшей величины, чем та, которая потребовалась бы только для компенсации влияния неравномерного разогрева бочек посередине и по краям. Следовательно, правильно выточенные валки для прокатки тонких листов, будучи разогреты до температуры, соответствующей нормальному темпам прокатки, имеют не строго цилиндрическую поверхность, а поверхность несколько выпуклую посередине.

Эта выпуклость при прохождении листов через валки в результате изгиба валков исчезает, поверхность бочки валков делается цилиндрической, и толщина прокатываемых листов получается равномерной. Изменение профиля валков под совместным влиянием нагрева и изгиба показано на фиг. 58.

Другим путем для уменьшения прогиба валков является применение клетей кварты, у которых тонкие рабочие валки опираются на большого диаметра опорные валки (фиг. 59).



Фиг. 59. Рабочие валки *a* в клети кварты, опираясь на опорные валки *b*, имеют малую величину изгиба

3. Деформация станин и их деталей при листовой прокатке

Кроме упругих деформаций изгиба валков и сжатия их по радиальному направлению, имеющих особенно большое влияние на равномерность толщины тонких листов, при прокатке листов, конечно, имеют место и все остальные упругие деформации, свойственные частям прокатных клетей всех вообще прокатных станов, т. е. упругие деформации станин, нажимных винтов и гаек для них, подушек и проч. Этот вопрос уже разбирался нами раньше (независимо от рода прокатки). Примерная величина деформаций этого рода для тонколистового стана приводится в начале настоящей книги, где говорится об игре валков.

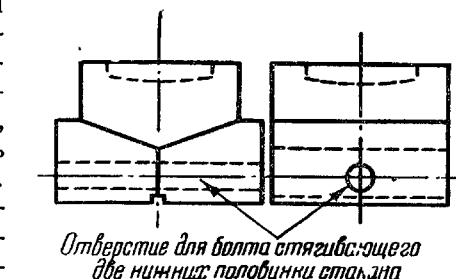
Однако, нужно полагать, что при прокатке листов суммарная величина упругих деформаций этого рода, вероятно, не должна особенно заметно отличаться для обеих станин каждой клети, и поэтому эти деформации не должны значительно влиять на равномерность толщины обеих продольных кромок листов, т. е. толщина листов при правильной установке валков должна получаться одинаковой. Правда, вызывая при пропуске листов образование зазора между валками даже в том случае, если валки предварительно были сближены друг с другом вплотную, эта деформация, в связи со сжатием поверхности валков, делает невозможной прокатку обычным способом таких тонких листов как кровельное железо, жесть и др. (Как известно, это обстоятельство при работе на обычных станах дуо вызывает необходимость вести окончание прокатки тонких листов, соединяя листы в виде двоек, троек, четверок, восьмерок).

Однако, для тонколистовых станов нужно указать одну деталь, деформация которой на правой и левой станинах иногда может иметь разную величину, вызывая этим разную толщину кромок листов; это — устанавливаемые под обоими нажимными болтами предохранительные стаканы конструкции, показанной на фиг. 60. В стаканах этой конструкции деформируются (растягиваются) болты, стягивающие две нижние части стакана. Сила, передающаяся этим болтам и растягивающая их, в значительной степени зависит от коэффициента трения в местах соприкосновения

наклонных поверхностей частей стакана. Этот же коэффициент трения в свою очередь зависит от того, насколько хорошо смазаны (или не смазаны) эти поверхности и вообще от состояния этих поверхностей. А так как на смазку этих поверхностей обычно не обращают внимания (кроме того, эти места вообще не особенно удобны для смазывания), то может получиться, что наклонные поверхности одного стакана будут случайно более или менее хорошо смазаны (например, стекающим маслом с нажимного винта), а у другого стакана эти поверхности останутся сухими. В результате один болт будет растягиваться больше другого, вызывая этим неравномерность толщины обеих кромок листов.

Для устранения этого явления нужно, конечно, поддерживать наклонные поверхности обеих стаканов смазанными в одинаковой степени.

Для равномерного удлинения рассматриваемых болтов важно также, чтобы они были изготовлены из стали одинаковых механических качеств. В противном случае при прокатке листов болты предохранительных стаканов правой и левой станин будут растягиваться (удлиняться) на разную величину, что вызывает разное перемещение верхних подушек и верхних валков и, следовательно, способствует получению листов, у которых одна продольная кромка толще другой.



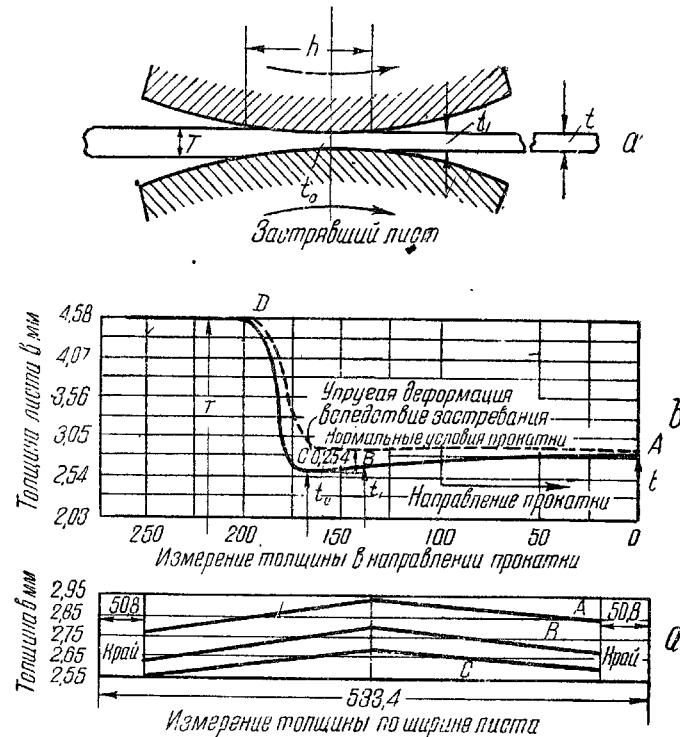
Фиг. 60. Предохранительный стакан тонколистовых станов

4. Влияние изменения скорости прокатки на величину деформации стана

Скорость прокатки также влияет на величину деформаций, возникающих в станинах клетей с установленными в них деталями, и на величину деформации самих валков. Об этом влиянии можно судить на основании точных измерений изменения толщины застрявших по каким-либо причинам штук (недоката) при прокатке сутунок и листов-одиночек. Пример такого изменения, произведенного J. Casswell'ем, приведен на фиг. 61.

Лист измерялся до вступления его в валки (толщина T) и после обжатия его валками (толщины t_0 , t_1 и t). Изменение толщины листа для участков *A*, *B* и *C* при его застревании в валках, т. е. при постепенном замедлении скорости проката вплоть до полной остановки, показано на фиг. 61 сплошной кривой; изменение же толщины при прокатке в нормальных условиях обозначено пунктирной кривой. Характер изменения сплошной кривой показывает, что при заторможении валков и уменьшении скорости прокатки происходит уменьшение толщины листов (на фиг. 61, *b* с t до t_0). Происходит это потому, что с

уменьшением скорости прокатки увеличивается продолжительность истечения прокатываемого металла под действием валков, что способствует более легкому истечению его. В момент остановки стана освобождающийся запас энергии расходуется для дальнейшего истечения металла в щель между валками. Происходит уменьшение напряжений во всех частях стана, подвергающихся деформации, что уменьшает деформацию станин с их деталями, а также уменьшает стрелу прогиба валков.



Фиг. 61. Изменение толщины листа, застрявшего в валках при прокатке (J. Casswell)

ков. Сплошная кривая (фиг. 61, б) показывает, что чем больше замедляется скорость прокатки (участок штуки возле С), тем больше распрямляются все деформированные части стана, тем уже делается щель между валками и, в связи с этим, тем тоньше делается лист (участок С непосредственно у валков, у которого толщина листа наименьшая). Для случая, показанного на фиг. 61, произшедшее при остановке стана уменьшение деформации самих станин, деталей в станинах и прогиба валков равно 0,254 мм. Эта величина несколько меньше определенной J. Casswell'ем полной величины деформации в стане, равной 0,42 мм, что вполне понятно, так как застрявший в валках лист, конечно, продолжает держать все соответствующие части стана и валка в напряженном состоянии, хотя и менее значительном.

Чем то напряжение, которое имеет место в момент нормальной прокатки листов [1].

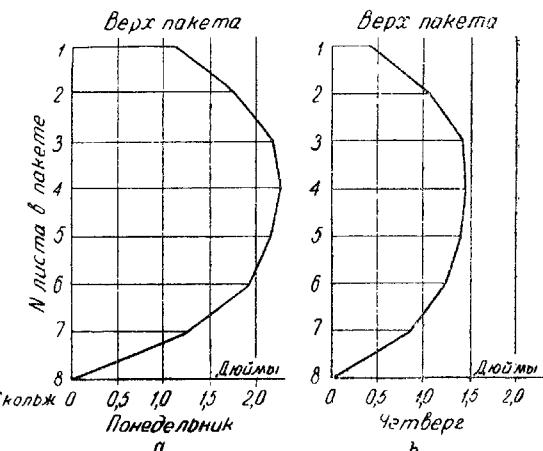
Из вышесказанного видна определенная связь между толщиной листов и скоростью, при которых они прокатываются. Хотя при нормальных условиях скорость прокатки обычно не меняется в значительных размерах, однако, если необходимо получать тонкие листы с возможно большей равномерностью толщины, нужно избегать колебаний скорости прокатки.

V. Влияние скольжения листов на точность их толщины

При прокатке тонких листов пакетами имеет место скольжение листов внутри пакета друг по другу. На величину скольжения листов друг по другу при прокатке их пакетами влияют, во-первых, положение их в пакете (наружные и внутренние листы) и, во-вторых, степень шероховатости валков. Совместное влияние обоих факторов на скольжение показано на фиг. 62, составленной J. Casswell'ем [1].

Диаграмма фиг. 62, а показывает, что гладкая поверхность валков (когда валки после переточки работают первый день) вызывает наибольшую величину скольжения листов; валки же с шероховатой поверхностью (фиг. 62, б) дают меньшую величину скольжения. Степень взаимного перемещения концов листов в пакете уменьшается по мере увеличения степени шероховатости поверхности валков.

Явление скольжения листов друг относительно друга свидетельствует о том, что если в пакете разные листы до прокатки имеют одинаковую длину (пакет обрезается под ножницами) и толщину, то после прокатки они получают разную длину, т. е. обжимаются по разному, первоначальное совпадение концов листов нарушается, причем концы листов, расположенных внутри пакета, выступают больше, чем концы наружных листов. Наибольшее скольжение и удлинение получают самые средние листы (№ 3, 4, 5). Скольжение листов вызывает неравномерность толщины их и этим способствует уменьшению точности толщи-



Фиг. 62. Скольжение листов при прокатке коротких восьмерок в различные дни недели:

а—скольжение в валках с гладкой (невыработавшейся) поверхностью; б—скольжение в валках с шероховатой (выработавшейся) поверхностью (J. Casswell)

ны получающейся продукции (тонких листов). Разница в толщине листов одного и того же пакета довольно ощутительная, а именно, достигает несколько сотых миллиметра¹.

VI. Неравномерность толщины листов, обусловливаемая особенностями процесса деформации металла между валками

Ко всему вышесказанному о причинах неравномерности толщины листов в поперечном сечении нужно добавить, что она обусловливается не только геометрическими очертаниями щели, образуемой валками, через которую проходит лист. *Известны факты, показывающие, что лист получается толще посередине, чем по краям даже в том случае, если щель между валками в момент прохода листа имеет строго параллельные стороны.*

Точного объяснения этого факта пока не имеется. Проф. И. М. Павлов приводит мнение американского специалиста инж. Мелени, считающего, что утолщение листов посередине связано „с большим упругим восстановлением первоначальной толщины тотчас после выхода (листа) из области деформации, в связи с большим давлением в этой зоне“ (сравнительно с краями листа) [53].

Инж. Н. А. Соболевский не согласен с объяснением инж. Мелени и дает этому явлению свое объяснение, связывая его с особенностями процесса деформации металла, происходящего в валках. Н. А. Соболевский доказывает, что явление опережения заключается не только в опережении в собственном смысле, а также и в утолщении металла за валками. Это явление имеет место посередине прокатываемого металла (листов, широких полос). По краям же действует уширение, которое сводит к нулю опережение, в результате чего края получаются тоньше середины [54].

Г. ПРОКАТКА ПО МИНИМАЛЬНЫМ ДОПУСКАМ ("ПРОКАТКА НА МИНУС")

При изготовлении прокатной продукции допустимые отклонения от требующихся размеров (допуски) обычно даются одновременно в большую и меньшую стороны (\pm). В большинстве случаев с точки зрения возможности использования прокатной продукции бывает безразлично, в какую сторону она имеет отклонения от номинальных размеров, если только эти отклонения заключаются в установленных пределах.

Обыкновенно прокатчики, заложив поправленные переточки валки, стараются получать продукцию с нормальными размерами. Поэтому и калибровка и обточка валков обычно предусматривают получение на невыработанных валках продукции с нормальными размерами. Однако, так как калибры постепенно вырабатываются и, следовательно, размеры их увеличиваются, то и размеры получающегося профиля тоже постепенно увеличиваются, т. е. прокатная продукция начинает получаться все с большими допусками в положительную сторону. Прокатка, таким образом, ведется до тех пор, пока не достигается предел положительных допусков.

При таком способе прокатки не используются возможные минимальные допуски, поэтому он неэкономичен.

С точки зрения экономии металла всегда желательно, чтобы прокатка велась с допусками в меньшую сторону, т. е. желательна „прокатка на минус“. Конечно, прокатка на минус, вообще говоря, более затруднительна, чем прокатка с допусками в обе стороны. Если при обычной прокатке величины допусков в обе стороны равны, то прокатка на минус по существу означает требование вдвое большей точности. Так, например, если для круглого диаметром 18 $мм$ допуски равны $\pm 0,5 \text{ mm}$, то при обычной прокатке предел колебаний диаметра равен 1 $мм$ (от 17,5 до 18,5 $мм$). При прокатке же на минус предел колебаний диаметра для круглого этого размера равен полумиллиметру (от 17,5 до 18,0 $мм$).

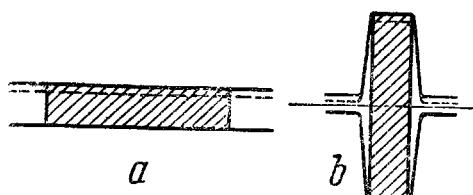
I. Способы получения проката в пределах отрицательных допусков

Получать прокат с отклонениями размеров только в меньшую сторону в основном можно двумя способами: 1) соответствую-

¹ J. Casswell приводит предложенный им способ прокатки тонких листов в пакетах, способствующий, по его заявлению, получению листов более равномерной толщины. Этот способ мы здесь не приводим.

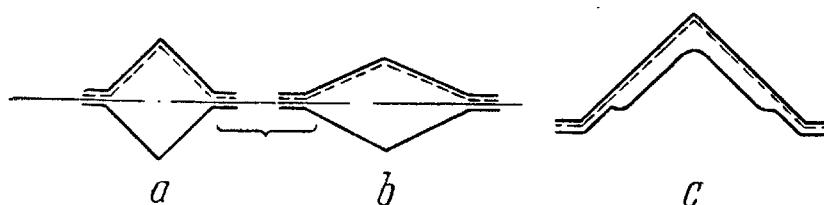
щей установки валков или 2) соответствующим изменением размеров калибров.

Такие профили, как полосовое, прокатываемое на гладких валках, и др. можно получать с отрицательными допусками простым сближением валков (например, опусканием верхнего валка)



Фиг. 63. Сближение валков при прокатке „на минус“ полосовых профилей (П. Казаков)

в клетях чистовых и предчистовых проходов. На фиг. 63 сплошной линией показано положение валков, при котором размеры полосового профиля получаются номинальной величиной, а пунктирной линией — положение верхнего валка, при котором этот профиль получается с отклонениями размеров в отрицательную сторону. Так как при сближении валков только для чистового прохода штука может получиться излишней шириной (при прокатке полосового), то, сближая валки чистового прохода (фиг. 63, a), нужно соответствующим образом сближать валки предчистового прохода, каковым при прокатке полосовых профилей является ребровой калибр (фиг. 63, b).



Фиг. 64. Сближение валков при прокатке „на минус“ квадратного и углового профилей

Таким же простым сближением валков достигается прокатка на минус при профилях, аналогичных квадратному, угловому и тому подобным профилям (фиг. 64). При прокатке этих профилей нужно сближать не только валки чистового калибра (фиг. 64, a и 64, c), но и валки предчистового калибра; при прокатке квадратного профиля таким калибром является ромб (фиг. 64, b)¹.

При прокатке углового на возможность получения толщины полок с допусками „на минус“ большое влияние оказывает толщина полок штуки, выходящей из предчистового калибра. Если предчистовой калибр слишком значительно выработается, то выходящая из него штука будет слишком толста, и получить окончательный профиль с минимальными допусками, не вызвав на концах полок образования заусенцев, затруднительно или даже невозможно.

Поэтому при прокатке углового рекомендуется предчистовые

¹ Для возможности необходимого сближения валков нужно продумывать достаточной величины зазор между валками.

калибры иметь на отдельных валках и в достаточном количестве.

Для получения углового с минимальными допусками ширину полок следует вытачивать по нормальным размерам, но без учета коэффициента расширения от нагревания [55].

В других же случаях, а именно, при прокатке круглого и фасонных профилей, для получения продукции с отклонениями размеров в отрицательную сторону, нужно заранее вытачивать валки для чистовых, а также и предчистовых проходов с соответствующим уменьшением размеров указанных калибров. Так, например, при прокатке круглого диаметром 50 мм, когда не заботятся о получении продукции с отрицательными допусками, чистовой калибр вытачивают с диаметром, соответствующим номинальному диаметру круглого в холодном состоянии, т. е.

$$50 \times 1,015 = 50,75 \text{ mm}$$

(где 1,015 — коэффициент расширения железа при температуре конца прокатки).

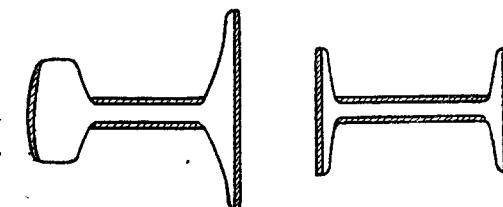
Если же хотят получать продукцию с отрицательными допусками, то, принимая во внимание, что по ОСТ для 50 мм допуски равны $\pm 1,0 \text{ mm}$, чистовой калибр для этого размера должен быть выточен с диаметром $(50-1) \times 1,015 = 49,74 \text{ mm}$. Одновременно соответствующим образом нужно пересчитать и предчистовой калибр (овал).

Лучшие результаты в смысле облегчения получения минимальных размеров получаются, если рассчитывать по номинальным допускам не два, а три последних калибра, а именно: чистовой калибр, предпоследний калибр и третий, считая с конца прокатки (прокатка круглых профилей, ж.-д. рельсов).

Для прокатки на минус фасонных профилей, вроде рельсов, двутавровых балок, швеллеров и др., нужно ввести соответствующие поправки для отдельных элементов чистовых (и предчистовых) калибров (фиг. 65) [56]. (Наружные контуры обозначают расточки калибров на нормальные размеры профиля; внутренние контуры — на минимальные размеры).

Ввиду чрезвычайно большого практического значения прокатки на минус (в экономическом отношении) приведем применявшиеся на заводе им. Петровского (в 1938 г.) способы прокатки на минус таких распространенных профилей, как швеллеры и рельсы (по описанию М. Галемина).

Прокатка на минус швеллеров. Рассмотрим прокатку швеллера № 10, т. е. швеллера, нормальная высота которого равна 100 мм. При прокатке на минус высоту его стремятся получить не 100 мм, а в пределах 97,5—98,0 мм. Чтобы получить эту высоту, чистовой калибр растачивают на 99,0 мм (округленно), учитывая коэффициент усадки металла при остывании 1,015.



Фиг. 65. Расточка чистовых калибров для рельсов и двутавровых блоков при прокатке „на минус“ (П. Казаков)

Высота полок принимается нормального размера, так как регулировкой валков можно получить желаемый минимальный размер их.

Ширина предпоследнего калибра, считая уширение металла в закрытом калибре равным 2 *мм*, при ширине чистового калибра 99 *мм*, должна быть равной 97 *мм*.

На эти размеры вытачиваются калибры у новых валков. Затем по мере выработки и невозможности получить первоначальную ширину калибров, их ширину постепенно увеличивают и в пределе доводят ее до 104,5 *мм* у чистового калибра и до 102 *мм* у предпоследнего; при указанной ширине высота швеллера № 10 получается максимально допустимой.

Если в валках мало предчистовых калибров, то они разрабатываются быстрее чистовых; чтобы в чистовые калибры не шел избыток металла, у новых валков их нужно вытачивать нескольких размеров, т. е. не только шириной 99 *мм*, но и 99,5 *мм* или 100,0 *мм*.

Соответственно сказанному, при таком способе работы нужно иметь два три комплекта шаблонов как для чистовых, так и для предчистовых калибров.

Аналогичным образом растачиваются валки для двутавровых балок, если хотят их прокатывать по минимальным допускам.

Прокатка на минус железнодорожных рельсов на заводе им. Петровского. При прокатке на минус железнодорожных рельсов типа Виньоля 1-А расточку валков последней клети (чистовых валков) в 1938 г. производили следующим образом, учитывая, что размеры и допуски для этого типа рельсов должны соответствовать нижеследующим величинам (в *мм*).

Элементы профиля	Нормальный размер	Допуски (для всех типов рельсов Виньоля)
Ширина головки . .	70	± 0,5
Толщина шейки . .	14	+ 0,75; - 0,5
Ширина подошвы . .	125	± 2,0
Высота рельса . .	140	± 0,5

Учет необходимости минимальных допусков производился при расточке последних трех калибров. Для чистового калибра, принимая во внимание усадку стали при остывании, брались следующие размеры: высота рельса — 141,5 *мм* и ширина головки — 70 *мм*. В соответствии с этими размерами чистового калибра рассчитывались предпоследний калибр и третий калибр от конца прокатки.

Размеры (средние) рельсов у проверочной значительной пар-

тии, прокатанной на валках, расточенных по указанным размерам, оказались следующие (в *мм*):

Элементы профиля	Передний конец (при 916° конца прокатки) <i>мм</i>	Задний конец (при 886° конца прокатки) <i>мм</i>	Отклонения от нормальных размеров	
			У переднего конца <i>мм</i>	У заднего конца <i>мм</i>
Ширина головки	69,6	69,85	- 0,4	- 0,15
Толщина шейки	13,8	14,0	- 0,2	0
Ширина подошвы	124,4	124,9	- 0,6	- 0,1
Высота рельса	139,8	140,0	- 0,2	0

Принимая во внимание увеличение горизонтальных размеров калибров по мере переточки валков, необходимо, кроме шаблонов для минимальных размеров, иметь также шаблоны для выточки калибров, исходя из калибровки, подсчитанной для нормальных размеров калибров [55].

При обследовании в 1932 г. Харьковским научно-исследовательским институтом пяти южных заводов для выяснения, как производится расточка калибров, оказалось, что, например, для полосового шириной 70—200 *мм*, прокатываемого в закрытых калибрах, ширина выпускных (чистовых) калибров на заводе им. Фрунзе делалась по нормальному размеру профиля, а на заводе им. Ворошилова — по минимальному размеру [57]. Понятно, что на первом заводе, как только начиналась выработка вертикальных стенок чистовых калибров, ширина полос сразу же получалась с допусками в положительную сторону.

Прокатка листов „на минус“. Для листов допуски в меньшую сторону по соображениям нежелания уменьшить прочность листов сравнительно небольшие. Это обстоятельство, вместе с получающейся при работе довольно значительной выработкой бочек листовых валков и значительными размерами листового проката по ширине, являются причинами того, что при прокатке листов более трудно держаться в пределах от номинальной толщины листов до минимальной. Но надлежащее внимание к подбору профиля валков при их обточке, как об этом было сказано раньше, может способствовать получению листов равномерной толщины по всему поперечному сечению. Надлежащее же сближение валков позволяет держать толщину листов близкой к номинальной.

При прокатке на минус требуется более тщательный и частый контроль размеров.

Шаблоны для измерения размеров продукции нужно делать с вырезами только для номинальных и минимальных размеров, а не для максимальных и минимальных, как это имеет место при обычной прокатке¹.

¹ Если хотят возможно полно использовать валки при таких профилях, как швеллеры, балки, ж. д. рельсы и др., то, принимая во внимание, что при каждой переточке ширина калибров увеличивается, для выточки калибров имеют шаблоны, соответствующие не только минимальным допускам, но и нормальным размерам профиля (иногда делают даже три комплекта шаблонов). В этом случае и для получающейся продукции нужно иметь не только минимальные и нормальные, но и максимальные шаблоны.

В случае прокатки круглых и фасонных профилей валки нужно менять чаще (а при нескольких чистовых калибрах — чаще менять калибры), так как нельзя допускать такой выработки калибров, при которой продукция начинает получаться с положительными допусками (если калибры были выточены по минимальным размерам).

Поскольку нагрев в значительной степени влияет на размеры профиля, нужно особенно строго следить за тем, чтобы выдаваемый из печей или колодцев металл был нагрет возможно более равномерно.

Итак, прокатке на минус способствуют:

- 1) соответствующая расточка чистовых и предчистовых калибров при профильной прокатке или бочек у валков для прокатки листов;
- 2) соответствующая установка валков;
- 3) возможно более равномерный и одинаковый нагрев металла, идущего в прокатку;
- 4) тщательный и частый контроль размеров прокатной продукции;
- 5) регулярная проверка рабочих и контрольных измерительных шаблонов;
- 6) своевременная смена валков, не допуская работы на валках с выработавшимися калибрами при профильной прокатке или с выработанными бочками при листовой прокатке;
- 7) вообще тщательный надзор и уход за станом и валками, в частности, за смазкой и охлаждением подшипников валков, температурой разогрева валков при прокатке и проч.¹.

Д. ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ РАЗМЕРОВ ПРОКАТНОЙ ПРОДУКЦИИ СТАРЫХ ПРОКАТНЫХ ЦЕХОВ

Из приведенного выше видно, насколько многочисленны и разнообразны факторы, влияющие на точность прокатки, и какие трудности встречаются в получении прокатной продукции с достаточно высокой точностью размеров.

При постройке новых станов все эти факторы должны быть учтены (если к их продукции будут предъявляться повышенные требования в отношении точности размеров).

Что же касается прокатных станов „старых“ цехов, то увеличивающиеся требования к точности размеров продукции частично ставят администрацию в затруднительное положение. Выход из этого положения в старых цехах часто находят, идя по линии наименьшего сопротивления: получая заказ, по которому требуется точность, превышающая обычную, ведут прокатку обычным способом, а из получившейся продукции заставляют отбирать те штуки, которые случайно получаются с более точными размерами. При этом бывает, что для того, чтобы выполнить требующийся заказ с повышенной точностью, приходится прокатывать и перебирать количество проката, превышающее требуемый заказ в 2—3 и даже значительно больше раз. Конечно, такой выход из положения делается очень затруднительным и даже невозможным, если заказов с повышенной точностью размеров проката будет значительное количество.

Безусловно, на старых прокатных станах трудно полностью удовлетворять повышающиеся требования к точности выпускаемой ими продукции. Однако, и на старых станах все-таки возможно в известной степени, иногда довольно значительной, повысить точность прокатки.

1. *Улучшение нагрева металла для прокатки.* У многих прокатных цехов нашего Союза, построенных в дореволюционное время, нагревательные устройства недостаточно мощны и неудовлетворительны по качеству нагрева; поэтому повышение точности выпускаемой прокатным станом продукции должно начаться с улучшения нагрева металла, идущего в прокатку. А сделать это возможно почти во всех случаях.

Разработку проекта реконструкции нагревательных устройств того или другого стана заводы могут делать или собственными силами или при содействии имеющихся у нас специальных

¹ Если, как это бывает в прокатных цехах с небольшой производительностью, представляется возможным персоналу, обслуживающему стан, производить оплату не по числу тонн, прокатанных за смену, а по числу фактических погонных метров, то это способствует получению продукции с минимальными допусками. Такая прокатка и такой способ оплаты, например, имели место в 1929 г. в прокатном цехе Нижне-Салдинского завода, выпускавшего балки, швеллеры, ж.-д. накладки и подкладки.

проектных организаций, накопивших в настоящее время достаточный опыт в этой области. Особенно эффективным является постройка трехзонных нагревательных печей, снабженных надлежащей контрольно-измерительной аппаратурой. Иногда же представляется возможным и является достаточным добавление нескольких горелок у топочного пространства существующих печей или устройство добавочных боковых топок, как это, например, сделано в 1936 г. у одной из нагревательных методических печей мелкосортного цеха завода им. Дзержинского.

2. Упорядочение валкового хозяйства. Посколько валки являются теми деталями прокатного стана, которые непосредственно выпускают прокатную продукцию, предопределяя профиль ее, важнейшим делом является упорядочение хозяйства валков.

Это упорядочение должно ити по следующим путям:

1) Переход на прокатные валки повышенного качества (легированные валки), т. е. на валки, возможно медленнее срабатывающиеся, более длительное время дающие практически одинаковый профиль, позволяющие работать длительное время без перевалок или изменения настройки.

2) Обеспечение прокатного стана достаточным запасом готовых к работе валков. Достаточный запас готовых валков дает возможность производить перевалку сработавшихся валков, как только замечается нарушение правильности и точности получающейся со стана продукции, и не заставляет, как это иногда имеет место, откладывать перевалку валков до того времени, когда доставят насспех переточенный следующий комплект валков.

3) Улучшение качества обточки прокатных валков. Этого можно достичь: заменой старых, изношенных вальцетокарных станков; строгим и точным контролем правильности обточки валков.

3. Рационализация существующих калибровок. Это очень серьезная но в то же время очень плодотворная работа.

Из приведенного на стр. 49 примера сравнения точности размеров круглого профиля, прокатанного по калибровкам различных систем, видно, в какой значительной степени точность профиля зависит от калибровки.

4. Обеспечение стана качественными, точными размерами деталями. Здесь подразумевается применение деталей высокого качества: подшипников, пропусков (проводок), подушек, подкладок, клиньшков и пр. В отношении подшипников и пропусков (проводок) важно, чтобы они изготавливались из материалов со значительной стойкостью против истирания (возможно дольше не изменяли своих размеров). Для всех же в обще перечисленных деталях важна точность их размеров и ровность соприкасающихся поверхностей, что способствует уменьшению зазоров между ними. Важно не допускать работы на сработавшихся деталях.

Уделив достаточное внимание вопросу обеспечения стана качественными деталями, можно достичь значительных результатов. А поскольку цеховые и общезаводские слесарные и ме-

нические мастерские находятся в распоряжении самих прокатных заводов, эта задача вполне осуществима.

5. Повышение качества эксплуатации рабочих клетей стана. В этом отношении громадное значение имеют: улучшение качества настройки валков; уход за валками, их шейками и подшипниками, смазка подшипников и шеек; поддержка возможно более плотного прилегания друг к другу отдельных деталей клетей с целью уменьшения игры в стане и вообще недопущения расхлябанности стана (путем подтягивания гаек, болтов, клиньев связей и проч.); соблюдение определенного режима охлаждения валков, обеспечивающего возможно постоянную температуру валков, и пр.¹

6. Улучшение контроля размеров прокатываемой продукции. Сюда относится: употребление точного и удобного измерительного инструмента; рационально поставленная проверка этого инструмента; возможно более частое измерение размеров выпускаемой станом продукции.

7. Создание условий для возможно более непрерывного и равномерного темпа прокатки, что способствует одинаковому постепенному изменению температуры прокатываемого металла и поддержке одинаковой температуры валков, производящих прокатку; эти два условия устраняют причину колебания попечерных размеров профиля от температурных колебаний.

8. К приведенным положениям, обязательным для всех прокатных станов, в случае листовой прокатки нужно еще добавить:

1) рациональный выбор профиля бочки; при станах трио Лаута (среднелистовых и крупнолистовых) должна быть продумана последовательность изменения профиля бочки среднего валка (величина конусности) по мере срабатывания верхнего и нижнего валков одного и того же комплекта;

2) рациональный подбор сортамента прокатываемых листов в соответствии с постепенной выработкой бочек валков.

¹ Придавая большое значение вышеперечисленным моментам, мы в приложении приводим „Правила ухода за шейками и подшипниками прокатных валков“. Правила извлечены из статьи автора „Об улучшении условий эксплуатации валков“ [58].

Приложение

ПРАВИЛА УХОДА ЗА ШЕЙКАМИ И ПОДШИПНИКАМИ ПРОКАТНЫХ ВАЛКОВ [58]

А. ПРАВИЛА, ОТНОСЯЩИЕСЯ К ПОДГОТОВКЕ ВАЛКОВ К РАБОТЕ

I. Требования, предъявляемые к шейкам закладываемых валков

1. Шейки валков должны быть совершенно точно обточены и отшлифованы.
2. Нельзя закладывать в стан валки с грубообработанными, а тем более с "залранными" ("затравленными") шейками или с шейками, имеющими трещины и вообще какие-либо пороки поверхности.
3. Перед закладкой в клеть необходимо тщательно очищать шейки валков от покрывающего их слоя смазки, а также от пыли, грязи, ржавчины, а затем промывать керосином и вытирать. Непосредственно перед укладкой валков на подшипники шейки их необходимо смазывать.

II. Правила, относящиеся к подшипникам и подушкам для подшипников

1. Вкладыши или кассеты текстолитовых подшипников должны быть чисто простроганы по плоскостям, прилегающим к подушкам; также чисто должны быть простроганы гнезда подушек, в которые закладываются подшипники; неплотное прилегание подшипников к подушке (фиг. 14) вызывает прогиб или раздавливание подшипников.
2. Диаметр седловин подшипников и радиус закруглений их фланцев должны точно соответствовать диаметру шеек и радиусу галтелей бочек валков.
3. Перед укладкой под шейки или на шейки валков подшипники, как металлические, так и текстолитовые, должны быть также обязательно смазаны. Если в стан вновь ставятся уже бывшие в работе подшипники, то они должны тщательно очищаться от старой смазки или грязи.
4. Необходимо обращать особенное внимание на правильность укладки валков на подшипники, подшипников в подушки и подушки в станины. Валки, подшипники и подушки должны устанавливаться по уровню строго горизонтально; особенно необходимо, чтобы подшипники плотно прилегали к шейкам по всей их длине.
5. Необходимо, чтобы подшипники сидели в подушках плотно, без зазоров, а зазоры между подушками и станинами были возможно меньшими.

6. Для обеспечения устойчивого положения подшипников в гнездах подушек подкладки под подшипниками должны быть ровными и гладкими. Применение в качестве подкладок или клиньев случайно попавших под руку кусков железа не допускается.

7. Во избежание установки под подшипники большого количества тонких подкладок (что увеличивает игру валков), необходимо иметь достаточный запас их, при этом разной толщины.

8. Подкладки под подшипники должны быть достаточно длинными; если подкладка лежит под подшипником не по всей его длине, то это влечет за собой перекос и быстрый неправильный износ его (фиг. 12).

9. Если подшипники входят в гнезда туго, то их закладку в подушки

нужно производить весьма осторожно; при закладке цельнопрессованных текстолитовых подшипников нельзя ударять по ним молотком, а следует забивать их деревянной колодкой.

10. Если в подушках или станинах в местах прилегания к ним подушек обнаружатся изношенные участки, то необходимо принять меры к их исправлению (простройкой, наваркой, установкой планок) или же заменить изношенные детали новыми.

11. Ни в коем случае нельзя допускать одновременной установки на одну шейку текстолитовых и бронзовых подшипников, так как это вызывает быстрый износ текстолитовых подшипников и усиленный нагрев шеек валков.

12. Необходимо принимать меры против попадания на шейки и подшипники окалины. Особенно легко она может попадать на открытые сверху шейки нижних валков. Поэтому эти шейки нужно защищать щитками, прилегающими плотную к галтелям валков; между галтелью и щитком следует вставлять кошму.

Б. УХОД ЗА ШЕЙКАМИ ВАЛКОВ И ПОДШИПНИКАМИ ВО ВРЕМЯ РАБОТЫ СТАНА

I. Смазка и охлаждение шеек валков

1. При металлических подшипниках на шейках валков должно быть достаточно количество смазки, причем струи воды, охлаждающие шейки, должны быть направлены так, чтобы они не смывали смазку.

2. При работе на текстолитовых подшипниках можно обходиться без обычной смазки, подавая только на шейки достаточное количество воды. Однако, в период освоения этих подшипников рекомендуется применять помимо воды и обычную смазку. Для проволочных и мелкосортных станов вообще на время работы рекомендуется покрывать шейки валков небольшим количеством смазки.

3. При работе на текстолитовых подшипниках на время остановки стана шейки валков должны покрываться смазкой¹.

4. Вода должна поступать на шейки непрерывно и в достаточном количестве, при температуре не выше 25°C и давлении не менее 2–3 atm. Вода должна распределяться равномерно по длине шеек. Особенно обильное количество воды необходимо при работе на текстолитовых подшипниках.

5. Вода, поступающая на шейки, должна быть чистой, так как песок или другие примеси вызывают быстрый износ и нагрев шеек и подшипников; кроме того грязная вода засоряет водопроводные трубы.

6. Необходимо все время следить за правильностью положения концов металлических трубок или резиновых рукавов, подводящих воду к шейкам: эти трубы или рукава не должны сбиваться в сторону. Нельзя, конечно, допускать перегибов резиновых рукавов.

7. Пуск стана может производиться только после того, как на шейки валков вода начинает поступать в достаточном количестве; если поступление воды запоздает хотя бы на короткое время, то достаточно нескольких оборотов валков всухую, чтобы ухудшить состояние трущихся поверхностей шеек и подшипников и вызвать их нагрев.

II. Прочие правила ухода за шейками валков и подшипниками

1. Нельзя допускать сильного нагрева шеек и подшипников, так как при этом ускоряется их износ.

2. Чрезмерный нагрев шеек и подшипников обусловливается одной из следующих причин:

1) отсутствие или недостаток воды вследствие засорения водоподводящих трубок или сдвига в сторону их концов, вследствие слабого напора воды и пр.;

2) слишком высокая температура воды;

3) недостаток смазки (при работе на металлических подшипниках);

¹ Перед остановкой стана смазка шеек производится для того, чтобы облегчить пуск двигателя в ход, а также и для того, чтобы во время остановки стана шейки валков не окислялись в местах прилегания их к подшипникам, так как образующийся на шейках тонкий слой окиси металла затрудняет пуск двигателя.

- 4) чрезмерный зажим шеек в подшипниках болтами подвесок или клиньями;
- 5) перекос валков, подшипников, подушек вследствие неправильной настройки стана или в результате его работы;
- 6) загрязнение шеек окалиной или грязью, принесенной с водой;
- 7) неудовлетворительное состояния поверхности шеек или подшипников;
- 8) установка на одну шейку бронзового подшипника одновременно с текстолитовым;

9) слишком большой износ подшипников, приводящий к трению шейки о подушку или о кромку кассеты наборного текстолитового подшипника и пр.

3. В зависимости от того, какая причина вызывает нагрев шейки, нужно принять соответствующие меры:

1) В случае разогрева шеек и подшипников чаще всего применяют охлаждение их путем увеличения подачи воды и добавляют смазку до тех пор, пока шейка не перестанет нагреваться¹. При этом нужно помнить, что увеличивать поступление воды нужно осторожно и постепенно, иначе разогревшаяся шейка может лопнуть (шейки иногда нагреваются так, что светятся в темноте). Иногда необходимо для охлаждения разогревшихся шеек проработать 5—10 мин. входящую.

2) Шейки валков не должны быть ни слишком зажаты в подшипниках, ни лежать в них слишком свободно. В последнем случае получаются толчки, вредно отражающиеся на шейках, подшипниках и вообще на всем стане.

3) Шейки, на которых (во время работы) обнаружены небольшие дефекты (черточки и пр.), рекомендуется для заглаживания неровностей покрывать на некоторое время графитом, смешанным с салом, маслом или с серой (это мероприятие способствует охлаждению шеек).

4) Для проверки состояния шеек и подшипников необходимо использовать все остановки стана.

5) При посменной передаче стана необходимо обращать особое внимание на состояние шеек и подшипников.

4. Выполнение приведенных правил, касающихся охлаждения шеек водой, смазки и пр., может быть обеспечено лишь в том случае, если будет организован постоянный самый тщательный надзор за шейками, так как при наличии нескольких клетей одному лицу, даже специально выделенному, трудно осуществлять этот надзор в полной мере. Нужно, чтобы наблюдение было распределено между всеми участниками бригады, обслуживающей стан (вальцовщиками, крючечниками, дежурными слесарями); при этом необходимо, чтобы было известно, кто персонально отвечает за каждую отдельную шейку с ее подшипниками.

ПЕРЕЧЕНЬ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ, НА КОТОРЫЕ ИМЕЮТСЯ ССЫЛКИ В ТЕКСТЕ КНИГИ

1. Casswell. Производство белой жести. „Новости иностранной металлургии“, 1935 г., № 5. (Реферат статьи из „Blast Furnace and Steel Plant“, 1935 г., № 2, 3, 4 и 5).
2. Roux. Игра (cédage) в прокатных станах, ее значение с технической точки зрения. Новая клеть, практически не имеющая отдачи. „Revue de Metallurgie“, 1928 г., № 12 (перевод в „Вестнике металлопромышленности“, 1929 г., № 2 и в „Домезе“, 1930 г., № 3 и 4).
3. F. Wintergaff. Обручные станы заводов Thyssen в Mülheim'e (Ruhr) и Dinslaken'e „St. и Eis“. 1928 г., № 27. (Реферат в „Металлурге“, 1930 г., № 4—5).
4. А. В. Истомин. Современные мелкосортные станы. „Советская металлургия“, 1937 г., № 4.
5. S. Weckstein. Прецизионные прокатные станы. „Iron and Steel Engineer“, 1934 г. т. XI, № 11, стр. 427—435. (Имеется перевод ЦИТЭИН-СО, № 7235¹).
6. Достижение равномерности (постоянства) профиля при прокатке легированных сталей „Steel“, 1934 г. т. 95, № 10, стр. 36—39. (Имеется перевод ЦИТЭИН-СО, № 6102).
7. С. Рих. Современные направления в области прокатного производства за границей. „St. и Eis.“ 1929 г., № 37, 38, 39 (реферат „Гипромез“, 1930 г., № 4).
8. В. Тафель. Прокатка и калибровка. Гостехиздат, 1930 г.
9. F. Winterhoff. Первый немецкий широкополосный стан. „St. и Eis.“, 1938 г., № 44 (Реферат „Металлург“, 1939 г., № 3).
10. И. Пуппе и Г. Штубер. Прокатное дело, т. II, стр. 396, ОНТИ, 1937 г.
11. Первый всесоюзный съезд по качественным сталям. Металлургиздат, 1933 г.
12. A. Schifflers. Опыт применения текстолитовых подшипников в Нейкирхене. „St. и Eis.“ 1937 г., № 18 (Сокращенное изложение в „Новостях иностранной металлургии“, 1937 г., № 9 и 10).
13. Я. С. Галай. Лигностоиновые подшипники для прокатных станов. „Теория и практика металлургии“, 1938 г., № 5.
14. „Новый мелкосортный и проволочный стан“. „Вестник Демаг“, 1936 г. С. 2.
15. C. Schulz. Постройка и эксплуатация обручных станов. „St. и Eis.“, 1928 г., № 31 (Реферат „Металлург“, 1930 г., № 2).
16. C. Hascel. Опыт применения роликовых подшипников на отделочных и шестеренных клетях мелкосортных и проволочных станов. „St. и Eis.“ 1937 г., № 24 (Перевод в „Новостях иностранной металлургии“, 1937 г., № 11).
17. Л. В. Истомин. Оборудование типовых сортовых станов 300 и 350 м.м. „Советская металлургия“, 1935 г., № 3.
18. Г. Ноуар. Части прокатного оборудования и уход за ними „St. и Eis.“, 1934 г., № 43 и 44 (Перевод в „Новостях иностранной металлургии“, 1935 г., № 2).
19. E. Siebel и E. Osenberg. О влиянии трения и размеров поперечного сечения на истечение металла при прокатке „Mitt. a. d. Kaiser-Wo. Inst. für

¹ Центральный институт технико-экономической информации соц. обмена производственно-техническим опытом.

¹ При текстолитовых подшипниках о чрезмерном разогреве шеек можно судить по появлению характерного запаха.

- Eisenf.", 1934 г., вып. IV и „St. u. Eis." 1934 г., № 41 (Реферат „Домез", 1935 г., № 2).
20. А. А. Горшков. Прокатные валки из легированного чугуна, как необходимый фактор для развития качественного проката. „Уральская металлургия", 1934 г., № 9—10.
21. И. К. Прокопенко, А. А. Горшков. Об изготовлении „полутвердых" легированных прокатных валов для высокопроизводительных сортовых станов. „Уральская металлургия", 1935 г., № 12.
22. Л. Е. Кривошеев. Калиброванные прокатные валки. „Теория и практика металлургии", 1937 г., № 2.
23. В. Триникс. Калибровка прокатных валков, ч. 1, стр. 40. ОНТИ НКПС СССР, 1934 г.
24. S. Weckstein. Прецизионные станы для прокатки сортового металла, полосового и проволоки. Year Book of the American Iron and Steel Inst., 1935 г., стр. 80—103. (Реферат „Новости иностранной металлургии", 1936 г., № 3).
25. М. П. Леднев, В. А. Шадрин. Четыре системы калибровки для прокатки круглого профиля. „Уральская металлургия", 1935 г., № 7.
26. Проф. В. Е. Грум-Григорьев. Профиль рельса, прокатываемого при пониженной температуре. Сборник „Исследование рельсового дела в СССР", ч. 1, вып. № 75. Транспечать НКПС, Москва, 1928 г.
27. В. Д. Трофимчук. О прокатке с перекрытием. „Сталь", 1937 г., № 9.
28. В. Е. Грум-Григорьев. Элементарная теория прокатки и калибровки прокатных валов. „Металлургия стали", ч. 2. Изд. кассы взаимопомощи Политехнического института, С. Петербург, 1909 г.
29. В. В. Гуренков. Второй год работы прокатного цеха Кузнецкого Металлургического завода им. Сталина. „Уральская металлургия", 1935 г., № 3.
30. Н. Миловидов. К вопросу о смазке современных прокатных станов. „Сталь", 1938 г., № 7.
31. E. Siebel. Влияние трения на текучесть материала при прокатке. „St. u. Eis.", 1931 г., № 41. (Реферат „Новости иностранной металлургии", 1935 г., № 2).
32. А. Höll. Точность прокатки. „St. u. Eis.", 1934 г., № 35. (Реферат „Домез", 1934 г., № 11 и 12 и „Качественная сталь", 1935 г., № 1).
33. Новый полуавтоматический листопрокатный стан 2540 ми завода „Carnegie—Illinois Steel Corp." в Homestead'e. „The Iron Age", 1937 г. 21 янв. (Реферат „Новости иностранной металлургии", 1937 г., № 6).
34. M. Stone и C. Bueno. Новые заводы Ford Motor Co. „Blast Furnace and Steel Plant", 1935 г., декабрь, стр. 838—839. (Сокращенный перевод в „Новостях иностранной металлургии", 1936 г., № 4).
35. Реферат в „Новостях иностранной металлургии", 1936 г., № 4.
36. М. Галемин. Брак железнодорожных рельсов и методы устранения его. „Теория и практика металлургии". 1939 г., № 1.
37. А. № 11. Развитие мелкосортных и проволочных станов. „St. u. Eis." 1932 г., № 13 и 16. (Реферат „Домез" 1932 г., № 10 и „Сталь", 1932 г., № 6).
38. L. Cammen. Новый реверсивный тонколистовой стан с уменьшенными потерями тепла. „Iron, Trade Review", 1929 г. 11 апр. (Реферат „Гипромез", 1930 г., № 4).
39. Эмиль Кирхберг. Калибровка прокатных валков. „Домез", 1929 г., № 1.
40. А. Виткин. Механизация и автоматизация тонколистовых станов. „Сталь", 1939 г., № 2.
41. Инж. А. Каучусов и Н. Губашев. Проверка размеров горячекатанной стали на Златоустовском металлургическом заводе им. Сталина. „Качественная сталь", 1934 г., № 4.
42. А. М. Генесин. Автомат ДМИ для прокатки на минус. „Металлург", 1938 г., № 2.
43. Отчет бригады завода им. Дзержинского, бывшей летом 1936 г. на Сталинском заводе (Донбасс).
44. Б. Бельский. Прокатка толстых листов. Москва, 1932 г. Госуд. научно-техн. из-во по машиностроению, металлообрабатывающей промышленности и черной металлургии.
45. А. Виткин. Особенности производства белой жести в Англии. „Сталь" 1935 г., № 3.

46. Г. Я. Гиммельфарб. „Модернизация прокатки тонких листов и жести". „Уральская металлургия", 1935 г., № 9.
47. М. А. Голованов. Прокатка белой жести. „Домез", 1931 г., № 11—12.
48. А. В. Серебренников. Охлаждение прокатных валков пульверизацией воды. „Уральская металлургия", 1937 г., № 9.
49. H. Klein. Применение газа коксовых печей в производстве тонких листов. „St. u. Eis", 1935 г., № 44. (Реферат „Новости иностранной металлургии", 1936 г., № 3).
50. Loyd—Iones. Практика холодной прокатки. „Iron and Steel Engineer" 1933 г., август. (Реферат „Домез", 1934 г., № 5).
51. А. А. Горшков. Регулировка температуры листопрокатных валков для горячей прокатки, как средство для уменьшения их поломок. „Уральская металлургия", 1936 г., № 9.
52. А. Р. Канненберг. Что надо знать вальцовщику тонколистового стана. Харьков, 1935 г.
53. Проф. И. М. Павлов. Теория прокатки, стр. 252. Ленинград, 1934 г.
54. Н. А. Соболевский. Основные явления процесса прокатки. „Советская металлургия", 1933 г., № 8—9.
55. М. Галемин. Прокатка по минимальным допускам. „Сталь" 1939 г., № 1.
56. П. Казаков. Прокатка на минус. Газета „Техника", 1931 г. 6/IX, № 83.
57. П. А. Александров. Внедрение прокатки по минимальным допускам на пяти заводах „Сталь". Труды научно-исследовательского института металлов в Харькове за 1932 г.
58. В. Трофимчук. Об улучшении условий эксплуатации валков. „Сталь" 1938 г., № 7.

Оглавление

	Стр.
Предисловие	3
Введение	5
A. Влияние на точность прокатки факторов, относящихся к оборудованию стана	
I. Влияние системы стана	12
II. Влияние типа клетей станов	18
III. Влияние конструкции станин	19
IV. Влияние конструкции отдельных деталей клети	22
V. Степень совершенства изготовления станин клетей и их деталей и состояние их в течение эксплоатации	27
VI. Влияние качества прокатных валков	30
VII. Игра валков в стане	34
VIII. Прецезионные станины	39
B. Влияние на точность прокатки факторов, относящихся к процессу прокатки	
I. Калибровка и расположение калибров	49
II. Влияние на точность размеров профиля способа прокатки	59
III. Настройка стана и надзор за ним во время работы	63
IV. Влияние на точность размеров температуры прокатываемого металла	70
V. Влияние на точность размеров скорости прокатки, длины прокатываемых штук, перерывов во время прокатки и изменения темпов их. Влияние автоматизации прокатки	78
VI. Влияние на точность размеров разных других факторов	85
VII. Непрерывная автоматическая регулировка размеров профиля	89
C. Точность размеров листового проката	
I. Особенности получения точных размеров листового проката	92
II. Влияние на точность размеров поперечного сечения листов профиля бочки валков и состояние ее поверхности, обусловленных выработкой валков	93
III. Изменение размеров диаметра бочек валков вследствие разогрева и охлаждения их	97
IV. Деформация валков и станин с их деталями при листовой прокатке	107
V. Влияние скольжения листов на точность их толщины	115
VI. Неравномерность толщины листов, обусловливаемая особенностями процесса деформации металла между валками	116
D. Прокатка по минимальным допускам („прокатка на минус“)	
I. Способы получения проката в пределах отрицательных допусков	117
E. Пути повышения точности размеров прокатной продукции старых прокатных цехов	
Приложение. Правила ухода за шейками и подшипниками прокатных валков	126