

Проф. В. Е. ГРУМ-ГРЖИМАЙЛО

# ПРОКАТКА и КАЛИБРОВКА

ПОСМЕРТНОЕ ИЗДАНИЕ

ЛЕНИНГРАД  
1933

## ОГЛАВЛЕНИЕ.

	Стр.
Предисловие . . . . .	5
Вступление . . . . .	7

### Глава I.

#### Холодная обработка железа.

Возможность обработки железа в холодном состоянии . . . . .	8
Явление наклепа . . . . .	8
Примеры холодной обработки . . . . .	9
Малая распространенность холодной обработки . . . . .	12

### Глава II.

#### Горячая обработка железа.

Температура горячей обработки . . . . .	12
Сопротивление железа разрыву при высоких температурах . . . . .	13
Текучесть свинца и раскаленного железа . . . . .	13
Связь текучести с прокаткой . . . . .	16
Связь текучести с прессованием . . . . .	16
Зависимость текучести от трения между прессуемым образцом и бойком пресса . . . . .	17
Зависимость текучести от высоты раздавливаемых цилиндров и их диаметра . . . . .	17
Зависимость давления от скорости истечения . . . . .	19
Общий вывод . . . . .	21

### Глава III.

#### Обработка железа прокаткой.

Явление прокатки, как случай истечения металла . . . . .	21
Об уширении . . . . .	32
Механизм явления уширения . . . . .	39
Зависимость уширения от температуры . . . . .	42
Зависимость уширения от трения между материалом валов и прокатываемым металлом . . . . .	45
Зависимость уширения от диаметра валов . . . . .	46
Зависимость уширения от коэффициента обжатия. Увеличение уширения с увеличением быстроты работы . . . . .	48
Общее заключение из рассмотрения законов уширения . . . . .	49
Об угле захвата и коэффициенте трения между полосой и валами . . . . .	50
Независимость угла захвата от толщины полосы . . . . .	53
Расход работы на прокатку . . . . .	54
Охлаждение железа . . . . .	56

### Глава IV.

#### Калибровка обжимных валов.

Калибровка валов для обжимки слитков или валов блюминга . . . . .	57
Проектирование валов блюминга реверсивного дуо . . . . .	60

Время сдачи в набор 4/VI-32 г. Подписано к печати 17/IV-33 г.  
 Станд. формат бумаги 62 × 88. Колич. печатн. листов 8<sup>3</sup>/<sub>4</sub>. Колич. бумажных листов 4.  
 Общее колич. печатных знаков на бум. листе 50520  
 Цензорит № 5023. Заказ № 163. Тираж 5000 экз.  
 Ответств. редактор С. В. Грумм-Гржимайло. Техн. редактор М. Ф. Клименко.

Государственная типография „Лен. Правда“. Ленинград, Социалистическая, 14

## Глава V.

### Калибровка черновых валов.

	Стр.
Ромбические ручки для прокатки квадратной заготовки . . . . .	67
Геометрия ромба . . . . .	68
Ромбические ручки с коэффициентом обжатия $k=1,41$ . . . . .	71
Черновые валы по системе: квадрат, ромб, квадрат, ромб и т. д. . . . .	72
Система квадрат, ромб, квадрат, ромб для двойных последовательных черновых валов . . . . .	74
Свертывание в ромбических ручьях . . . . .	74
Система овал-квадрат, примененная для черновых среднесортных валов . .	75

## Глава VI.

### Прокатка сортового железа.

Прокатка листовой болванки для кровельного железа . . . . .	77
Прокатка шинно-плащидного железа . . . . .	81
Прокатка полосового железа . . . . .	82
Прокатка рессорной стали . . . . .	84
Прокатка квадратного железа . . . . .	84
Прокатка круглого железа через проводник . . . . .	85
Прокатка уголков . . . . .	88

## Глава VII.

### Прокатка и калибровка балок.

Прокатка балок . . . . .	90
Теория выдавливания фланцев балок . . . . .	97
Калибровка балок по способу Нижне-Садинского завода . . . . .	98
Калибровка балок, основанная на методе выдавливания или штампования .	107

## Глава VIII.

### Особенности калибровки рельсов.

Раздавливание фланцев и вынужденное уширение . . . . .	116
Трапециoidalные ручки . . . . .	117
Боковое давление и разрезка валов . . . . .	121
Методы калибровки рельсов . . . . .	126

## ПРЕДИСЛОВИЕ.

В жизни автора этой книги, Владимира Ефимовича Грум-Гржимайло, был один период, давший особенно много технического литературного материала. Это были 1908—1922 годы, когда он читал лекции по металлургии стали в Ленинградском Политехническом Институте и Уральском Горном Институте.

Он всегда с благодарностью отзывался о Совете Политехнического Института, который избранием в число профессоров дал ему возможность подвести итоги своей 22-летней заводской деятельности. В это время им были проработаны его основные капитальные труды: „Производство стали“ и „Пламенные печи“, вышедшие из печати только в 1925 году. К началу его научной деятельности относится и „Прокатка и калибровка“, до сих пор не опубликованная, если не считать студенческого литографированного издания.

Естественно встает вопрос: почему же эта книга до сих пор не выходила в свет. Как он смотрел на свои труды и почему так поздно они все появлялись в печати, хотя и были закончены значительно раньше.

Много раз к нему обращались с просьбой опубликовать „Производство стали“, но он всегда отказывался, говоря: „Рано, — пусть мои ученики проверят мои уроки на заводах и скажут, прав я или неправ“.

Только в 1922 году, когда в числе его учеников были не только руководители заводов, но и профессора высших учебных заведений, и когда никто из его учеников не сделал ему никаких возражений по основам его теории, он решился опубликовать результаты своих многолетних трудов. Эта осторожность будет вполне понятна, если вспомнить, что в основу его книг положены теории, революционизирующие существовавшие до него взгляды.

Я сам несколько раз обращался к нему с просьбой разрешить издание „Прокатки“, но он в этом отказывал: „Не стоит, я вопроса о калибровке не решил“. Это верно: ни в одной книге, а также и в его книге, мы не имеем точного ясного математического решения вопроса о калибровке, а между тем, я был свидетелем, как цеховые работники от руки переписывали всю его прокатку. Что в этой книге необходимо цеховым работникам и что делает ее ценной, несмотря на то, что в ней нет собственно теории калибровки? Ответ на этот вопрос можно найти в его вступлении, написанном в то время, когда он не отказывался от мысли издать книгу. Выпуская в свет книгу, от издания которой воздерживался сам автор, мы уверены, что поможем „царство средневековья“, как

он называл калибровку, поднять до уровня современной техники. Мы опубликовываем наблюдения и идеи большого практика, которые могут послужить в дальнейшем основанием для математического оформления теории.

Для издания этой книги был взят один из личных экземпляров автора и внесены в текст все сохранившиеся поправки и дополнения автора. Заметки, написанные на отдельных листках и не приуроченные автором к какому-либо месту текста, набраны мелким шрифтом.

Книга просмотрена его помощником по прокатке в бывшем Бюро Металлургических и Теплотехнических Конструкций—Николаем Андреевичем Соболевским, который просит отметить в предисловии, что им ничего не изменено в тексте этой книги, в свое время несомненно просмотренном автором. Уточнения и добавления, а также некоторые расхождения во взглядах помещены в сносках с пометкой „Н. С.“

Отмечая эту работу Николая Андреевича, а также его помощь при разборке рукописей и техническом редактировании книги, приношу ему глубокую благодарность от всей семьи автора. Одновременно приношу свою благодарность Н. С. Коновалову и Н. А. Шилкову за оказанную ими помощь при редактировании отдельных глав; В. Н. Гобято, О. В. Грум-Гржимайло и Г. В. Архангельской — за помощь при исполнении чертежей.

*С. Грум-Гржимайло.*

Москва  
1931.

## Вступление.

Калибровка — „царство средневековья“, секреты мастеров дела, беспочвенные умозрения ученых, пытающихся вывести законы калибровки, как это делали схоластики в области науки, не наблюдая и не справляясь с жизнью.

Как Лавуазье создал химию в тот момент, как начал наблюдать, вешать и мерить, так и прокатка как наука рождается тогда, когда мы начнем наблюдать, зачерчивать свои наблюдения и находить их объяснения графическим и математическим путем.

Путем умозрительным выведены некоторые весьма полезные формулы, сделаны некоторые, весьма интересные проверочные опыты, но когда авторы пытались создать калибровку-науку, они терпели полное крушение, ибо точки их отправления частью были неверны, частью они не знали многих положений, легших в основу многих калибровок и известных калибровщикам — практикам.

Мнение о калибровщиках, как только о хранителях секретов, рутинерах, абсолютно не верно. Для калибровщика необходимы продолжительность службы, тонкая наблюдательность, хорошая память о всех мелочах дела, не имевших своевременного удовлетворительного объяснения, и безупречная логичность и ясность мысли. Учить калибровке человека, не умеющего глубоко думать — бесполезно, ибо до сих пор в этом деле нет общения среди мастеров дела, и каждый калибровщик вынужден работать самостоятельно, выводя из наблюдаемых мелочных фактов причину их.

Настоящий труд есть попытка дать метод работы в области прокатки, научить приступающих к изучению этого дела наблюдать и по возможности дать указания, как надо поступать в различных случаях практики. Помещая здесь целый ряд калибровок, взятых прямо из жизни, я покорнейше прошу читателей не считать этого издания за атлас калибровок, откуда можно копировать и печь калибровки, как блины. Из практики я хорошо знаю, что каждая калибровка субъективна для данных условий работы, и ее нужно „приспособить“ к новым условиям.

*В. Е. Грум-Гржимайло.*

## ГЛАВА I.

### Холодная обработка железа.

**Возможность обработки железа в холодном состоянии.** При обыкновенной температуре мягкое литое железо обладает настолько удовлетворительной ковкостью, что в машиностроении нередки случаи более или менее сложной механической обработки его в холодном состоянии, как, например, постановка холодных заклепок.

Протяжка (волочение) тонкой, так называемой фортепьянной проволоки возможна также в холодном состоянии, прокатка жести для придания ей блестящей поверхности производится между валками с закаленной поверхностью при обыкновенной температуре.

Вся выделка очень тонкой стали для мелких поделок — дерево-резных пил, перьев, пуговиц, пружин и пр. — ведется прокаткой и волочением тоже в холодном состоянии.

Отсюда мы видим, что обработка железа и стали при обыкновенной температуре вполне возможна.

**Явление наклепа.** Однако, вышеупомянутый способ механической обработки в холодном состоянии применяется крайне редко и для выделки только тех предметов, обработка которых в горячем состоянии представляет очень большие затруднения.

Причина, почему заводские работники избегают обработки железа ковкой и прокаткой в холодном состоянии, лежит в так называемом явлении наклепа.

Мягкое литое железо обработкой без нагрева наклепывается, т. е. делается жестким и хрупким. Поэтому, расклепывая холодную заклепку, мы наблюдаем, что первые удары молотка выносятся заклепкой вполне благополучно, последующие же удары вызывают нередко трещины.

Если мы приобретем кусок протянутой проволоки, блестящей после прохода через последнее волочильное очко, и будем этот кусок сгибать руками, то мы придем к выводу, что проволока приготовлена из довольно жесткого металла. Возьмем этот кусочек проволоки и положим его на горячие дрова в печке и остудим на воздухе. Проволока делается мягкой, не упругой, напоминающей красную медь.

Очевидно, мягкому по природе литому железу волочением при обыкновенной температуре была сообщена упругость и жесткость наклепа.

Для объяснения этого явления обратимся к хорошо нам известным явлениям разрыва железного бруска на прессе. Под влиянием небольших нагрузок брусок вытягивается, дает удлинение, назы-

ваемое упругим, ибо оно исчезает по снятии нагрузки. В этом состоянии брусок напоминает резину. Увеличивая нагрузку, мы переступаем, наконец, предел упругости. Брусок дает остающееся удлинение, т. е., вытянувшись под влиянием растягивающего усилия, он уже не возвращается к первоначальной длине.

Снимем с этого бруска нагрузку и, как будто, мы имеем совсем другой брусок, начнем опыт сначала. Мы заметим, что свойства бруска изменились, его предел упругости повысился, и остающиеся удлинения он начнет давать только при грузах, больших того груза, которым он вызвано при первом испытании. Брусок делается упруге и жестче.

Очевидно переход за предел упругости оказал какое-то влияние на расположение частиц, и это новое ненормальное расположение частиц фиксировалось в бруске. Подвижность частиц железа при обыкновенной температуре настолько мала, что частицы не могут сами притти в первичное свое состояние, и получить при обыкновенной температуре брусок в первобытном его состоянии уже нельзя.

Железу можно вернуть первобытные его свойства только определенной термической обработкой, именно отжигом.

Отжиг выше критических точек уничтожит старую кристаллизацию зерен бруска, образует твердый раствор, охлаждение коего вызовет новую кристаллизацию бруска, которая и вернет бруску его природные свойства.

**Примеры холодной обработки.** Проволока, проволочиваемая через очко, листок жести, прокатываемый между полировочными валками, заклепка, подвергаемая ударам молотка, в сущности дела это — тот же брусок, подверженный нагрузке выше предела упругости. Изменение формы их есть следствие остающихся удлинений, вызванных усилиями, превосходящими предел упругости. Вот причина их большей упругости и жесткости. Мало того, при разрыве эти бруски должны дать меньшее удлинение, чем нормальное, по той простой причине, что холодной обработкой часть природного их удлинения уже утилизирована на изменение их наружного вида.

Итак, обработка железа без нагрева должна чередоваться с отжигом.

1. Пример холодной прокатки полосового железа: мягкое литое железо состава: C—0,07%; P—0,02; Mn—0,40; S—0,05%; Cu—0,15%, каталось в горячем состоянии в полосы размеров  $139 \times 1,75$  мм, после горячей прокатки следовала холодная прокатка до размеров  $140 \times 0,5$  мм.

Нормальная работа ведется так, что после 2—3 пропусков металл подвергается отжигу. Влияние наклепа холодной прокатки и отжига можно видеть из нижеприводимой таблицы (табл. 1).

Итак, холодная прокатка, сопровождаемая хорошим отжигом, несколько не портит качества металла.

Оба образца сохранили свое сопротивление (37 и 39 кг) и удлинение (29 и 32%) в отожженном виде.

Если неумеренной холодной обработкой надсадить металл, то его невозможно поправить отжигом.

ТАБЛИЦА 1.

Стадия	Характер обработки	Окончательные размеры мм	Разрывной груз		% удлинения		Состояние материала	Коэффициент обжатия
			1-й кг	2-й кг	1-й %	2-й %		
1	Материал: Полоса горячей прокатки . . . . .	$139 \times 1,75$	40 37	42 39	15 29	18 32	Не отожжен Хорошо отожжен	1,25%
2	При пропуске в холодном состоянии . .	$140 \times 1,0$	70 37	73 39	2 29	3 32	Не отожжен Хорошо отожжен	
3	Два пропуска в холодном состоянии . .	$140 \times 0,7$	68 36	72 39	2 29	3 32	Не отожжен Хорошо отожжен	1,214%
4	Два пропуска в холодном состоянии . .	$140 \times 0,5$	64 37	67 39	2,5 29	3,5 32	Не отожжен Хорошо отожжен	1,20%

Те же полосы  $139 \times 1,75$  мм подвергались более неумеренной обработке. При этом были получены такие результаты (табл. 2).

ТАБЛИЦА 2.

Стадия	Характер обработки	Размеры в мм	Разрывной груз кг/мм <sup>2</sup>		% удлинения		Состояние материала
			1-й	2-й	1-й	2-й	
1	Материал горячо прокатан . . .	$139 \times 1,75$	39 37	42 39	15 29	18 32	Не отожжен После отжига
2	После 4 пропусков . . . . .	$140 \times 0,8$	82 39	84 41	0,75 16	1,25 18	Не отожжен После отжига
3	После 3 пропусков . . . . .	$140 \times 0,5$	78 38	83 42	0,5 15	1,0 18	Не отожжен После отжига

После отжига металл вполне своих качеств не восстанавливает. Плохой отжиг нельзя поправить последующим хорошим. Это можно видеть из следующего примера (табл. 3).

ТАБЛИЦА 3.

Стадия	Характер обработки	Размеры в мм	Разрывной груз кг/мм <sup>2</sup>		% удлинения		Состояние материала
			1-й	2-й	1-й	2-й	
1	Материал: гор. прокатанная полоса	$139 \times 1,75$	40 37	42 39	15 29	18 32	Не отожжен После хорошего отжига
2	Два пропуска . .	$140 \times 1,0$	70 38	73 —	2 32	3 —	Не отожжен После хорошего отжига
3	Два пропуска . .	$140 \times 0,7$	72 39	76 —	3 32	0,75 —	Не отожжен После хорошего отжига
4	Два пропуска . .	$140 \times 0,5$	— 70 38	50 76 —	— 3 32	14 0,75 —	После плохого отжига Не отожжен После хорошего отжига
			—	48	—	18	После хорошего отжига

2. Пример волочения проволоки. Материалом для волочения является проволока в 5,3 мм диаметром—горячей прокатки. После каждого волочения проволока отжигается. Влияние наклепа и отжига видны из нижеследующей таблицы (см. табл. 4).

ТАБЛИЦА 4.

После	d	$\frac{\pi d^2}{4}$	$\frac{\pi d^2}{4} : \frac{\pi d_1^2}{4}$	До отжига		После отжига	
				Разрыв. груз кг	Удлин. %	Разрыв. груз кг	Удлин. %
Горячей прокатки . . . . .	5,8	22,06	1,52	38,52	29	37	29
1-го волочения . . . . .	4,3	14,52	1,35	54,63	5	37	29
2-го . . . . .	3,7	10,75	1,34	64,71	3	37	29
3-го . . . . .	3,2	8,04	1,35	69,55	2	37	29
4-го . . . . .	2,8	6,16	1,36	74,79	1,5	37	29
5-го . . . . .	2,4	4,52	1,44	80,0	1	38	28
6-го . . . . .	2,0	3,14		85	0,5	43	24

Отсюда видно, что при отжиге после каждого пропуска можно работать металл в холодном состоянии очень энергично, без заметного вреда для качества металла.

**Малая распространенность холодной обработки.** Отжиг железных изделий, во избежание окисления их, должен производиться вне свободного доступа воздуха, почему отжигаемые предметы помещают в плотно закупориваемые чугунные или стальные ящики. Более крупные предметы отжигаются в печах, пламя коих не заключает в себе кислорода; время отжига довольно продолжительно, так как получение твердого раствора (аустенита) идет во времени.

Отсюда мы видим, что отжиг, вообще говоря, операция весьма дорогая и сопряжена с расходом довольно значительного количества топлива, а потому и так называемая холодная обработка железа представляет дорогой и сложный путь для придания железу надлежащей формы.

## ГЛАВА II.

### Горячая обработка железа.

**Температура горячей обработки.** Прокатка и проковка железа производится почти исключительно при температуре выше критических точек. Практические пределы температуры при прокатке всяких торговых сортов от  $1340^{\circ}\text{C}$  до  $820^{\circ}\text{C}$ .

Прокатка железа листового котельного, кровельного и жести кончается при температуре более низкой, иногда при температуре полного их потемнения ( $500^{\circ}\text{C}$ ). Но полученные в этих условиях листы сильно наклепаны и нуждаются в отжиге.

Например, котельный обрезок в 10 мм толщиной с сопротивлением разрыву  $36 \text{ кг/мм}^2$  и удлинением  $28,5\%$  был прокован до толщины в 9 мм при  $600^{\circ}\text{C}$ , после чего сопротивление его оказалось равным  $42,9 \text{ кг/мм}^2$ , а удлинение  $10,0\%$  (опыт *Sattman'a*).

ТАБЛИЦА 5.

Температура	К и с л а я			О с н о в н а я		
	Разрыв- ной груз $\text{кг/мм}^2$	Удли- н. %	Сокращ. плещ.	Разрыв- ной груз $\text{кг/мм}^2$	Удли- н. %	Сокращ. плещ.
Перед проковкой . .	41,1	24,5	59,0	36,0	28,5	65,0
Прокровка при — $19^{\circ}$	41,5	15,0	59,8	39,8	19,5	64,0
„ „ + $10^{\circ}$	49,3	7,0	55,7	44,6	7,5	64,6
„ „ $40^{\circ}$	49,7	7,0	50,6	47,9	7,0	55,5
„ „ $200^{\circ}$	58,4	4,0	37,8	48,4	7,0	57,2
„ „ $320^{\circ}$	59,2	4,0	47,2	48,9	7,0	56,7
„ „ $600^{\circ}$	43,5	12,0	56,0	42,9	10,0	56,0
„ „ $800^{\circ}$	42,4	15,0	56,2	40,4	21,5	64,7
„ „ $1000^{\circ}$	42,5	22,5	64,5	38,0	22,0	67,6
„ „ $1100^{\circ}$	41,4	22,5	62,5	36,7	21,0	67,3
„ „ $1300^{\circ}$	41,5	18,5	61,0	36,2	19,5	68,9

Для иллюстрации приводим данные опыта Саттмана, дающие полное представление о влиянии механической обработки на сталь. Саттман взял обрезки котельного железа в 10 мм толщиной и проковал их до 9 мм толщиной, т. е. на  $10\%$  при различных температурах.

Результаты опыта можно видеть из таблицы 5. Сталь была взята кислая с  $0,19\% \text{C}$  и основная с  $0,15\% \text{C}$ .

В том же направлении делал опыты Терстон (*Thurston*). Он прокатывал полосы железа при различных температурах. Полученные им результаты приведены ниже.

ТАБЛИЦА 6.

Характер обработки	Разрывной груз $\text{кг/мм}^2$	Удлинение %	Сокращение площади
Сталь катаная:			
1) горячо . . . . .	34,1	30,0	41,4
холодно . . . . .	46,9	6,0	29,4
2) горячо . . . . .	34,7	27,5	40,2
холодно . . . . .	48,0	7,6	28,3
3) горячо . . . . .	34,5	21,6	37,8
холодно . . . . .	46,0	9,0	29,7
4) горячо . . . . .	35,7	16,9	47,0
холодно . . . . .	45,3	3,4	29,0

Повышение сопротивления за счет понижения удлинения есть следствие наклепа, уничтожаемого отжигом.

**Сопротивление железа разрыву при высоких температурах.** Физические свойства железа при температуре  $800—1300^{\circ}\text{C}$  резко отличаются от свойств железа при обыкновенной температуре.

Исследования Кольмана над разрывом железа дали результаты, приведенные на табл. 7.

**Текучесть свинца и раскаленного железа.** Таким образом, опыты Кольмана указывают, что сопротивление железа при температуре прокатки приближает железо при этих температурах к свинцу и олову в холодном состоянии, так как сопротивление свинца разрыву при обыкновенной температуре равно  $1,5 \text{ кг/мм}^2$ , олова  $3 \text{ кг/мм}^2$ ; свинец с прибавкой сурьмы дает  $3 \text{ кг/мм}^2$ .

К сожалению, ни в опытах Кольмана ни других исследователей нет определения изменения предела упругости с повышением температуры.

Как известно, свинец не имеет почти никакой упругости. Всякое усилие, приложенное к нему, вызывает изменение его формы. Другими словами, свинец обладает тем свойством, коим в высокой

ТАБЛИЦА 7.

Железо сварочное C = 0,1%; P = 0,14%				Мелкозернистое C = 0,12%; Si = 0,11%; Mn = 0,14%; P = 0,2%				Бессемеровское C = 0,23%; Si = 0,3%; Mn = 0,86%; P = 0,09%			
Температура °C	Сопротивление разрыву кг/мм <sup>2</sup>	Удлинение %	Сокращение площади %	Температура °C	Сопротивление разрыву кг/мм <sup>2</sup>	Удлинение %	Сокращение площади %	Температура °C	Сопротивление разрыву кг/мм <sup>2</sup>	Удлинение %	Сокращение площади %
20	37,67	19,0	20,40	20	40,0	20,0	23,8	20	60,3	13,0	18,30
84	37,54	21,0	19,00	75	40,3	22,0	21,2	70	57,8	14,0	23,20
190	35,77	27,3	26,00	125	40,1	23,5	24,3	120	59,0	19,2	27,30
310	33,53	33,0	34,00	190	39,8	20,0	18,7	180	58,9	22,0	29,10
370	29,91	38,1	43,10	240	39,5	26,0	25,2	230	57,8	24,2	31,20
445	22,90	48,1	44,30	310	38,5	30,0	26,3	310	54,3	38,7	45,20
510	11,07	37,0	54,69	360	36,5	20,0	18,7	—	—	—	—
530	9,72	44,0	52,07	410	33,0	59,0	36,0	—	—	—	—
540	9,04	18,0	57,25	460	25,5	58,5	49,5	—	—	—	—
555	7,90	31,0	62,13	440	19,5	55,4	58,7	—	—	—	—
570	7,53	20,0	54,69	500	17,6	52,0	55,2	530	18,8	29,0	71,00
585	7,00	31,0	62,13	540	14,2	31,0	31,2	—	—	—	—
590	6,89	25,0	78,90	590	12,2	41,5	60,5	600	15,07	38,8	91,70
610	7,05	23,0	45,20	640	11,4	41,2	62,8	620	14,31	37,5	94,70
630	6,95	19,1	48,10	—	—	—	—	630	15,07	23,5	93,25
680	6,33	12,0	54,70	670	10,5	46,0	48,1	640	14,65	42,8	95,52
730	5,65	33,0	52,10	700	9,2	45,0	52,2	710	10,92	46,5	94,68
750	4,52	8,0	66,70	750	8,0	50,3	58,3	760	9,05	45,2	95,03
760	4,52	53,0	71,00	—	—	—	—	780	8,82	47,1	94,68
770	4,14	23,5	71,00	—	—	—	—	—	—	—	—
780	3,09	13,0	73,00	—	—	—	—	—	—	—	—
820	3,20	20,0	75,00	800	6,9	59,4	63,3	830	7,24	41,2	96,60
850	3,01	13,0	78,90	850	5,8	72,0	73,8	850	6,50	37,4	97,10
880	2,41	8,0	78,70	900	4,7	20,2	83,8	870	6,00	33,1	96,60
915	2,00	7,5	78,70	920	4,0	15,8	82,8	900	5,42	27,3	97,40
960	1,81	6,8	84,40	940	3,7	11,3	86,0	—	—	—	—
1080	1,2	5,0	90,53	1020	2,6	9,1	89,6	—	—	—	—
				1040	2,3	7,0	92,0	1050	3,62	13,0	97,60
								1080	3,31	11,0	97,40

ТАБЛИЦА 8.

Исследования в Шарлоттенбурге.

Температура °C	1-я степень твердости				2-я степень твердости				3-я степень твердости			
	Сопротивление на 1 мм <sup>2</sup>	Удлинение в % на		Сокращение площади	Сопротивление на 1 мм <sup>2</sup>	Удлинение в % на		Сокращение площади	Сопротивление на 1 мм <sup>2</sup>	Удлинение в % на		Сокращение площади
		50 мм	100 мм			50 мм	100 мм			50 мм	100 мм	
— 20°	41,2	38,0	31,9	55,8	46,7	31,7	26,8	48,7	50,1	33,8	26,9	57,5
+ 20°	38,4	37,2	30,4	58,6	43,7	34,6	28,9	48,7	47,0	36,7	28,6	61,5
+ 100°	39,1	21,0	14,1	50,9	43,9	22,9	15,6	43,7	46,7	25,5	18,6	55,4
+ 200°	50,3	19,6	15,8	41,5	54,8	18,5	14,8	33,2	57,0	16,0	12,9	36,9
+ 300°	47,4	23,0	20,0	22,9	52,9	24,8	22,6	27,6	44,7	—	5,1	1,5
+ 400°	34,1	50,5	35,0	57,5	43,2	36,7	29,5	50,6	43,2	39,1	44,8	44,5
+ 500°	19,3	65,6	50,3	79,6	22,6	58,8	44,9	79,5	26,6	57,4	30,9	74,1
+ 600°	10,7	96,3	76,7	90,3	10,9	97,6	67,3	96,0	13,4	80,3	56,9	89,3

Примечания:

- Сопротивление других металлов:  
Al — 10—12 кг/мм<sup>2</sup>, удлинение 3% после отжига 800—1000°  
Sn — 3,5  
Pb — 1,25  
Pb — твердый (с Sb) — 3,0 кг/мм<sup>2</sup>.
- Ховард заметил, что сопротивления при высоких температурах меняются от времени приложения груза:

Испытываемая сталь 0,81% C      Время испытания 2 сек. разр. 44,3 кг/мм<sup>2</sup>  
 "      " 5—10 "      " 23,5 "

степени обладают жидкости. Кроме того, свинец под давлением легко заполняет, как жидкость, сосуд, в котором находится, вытекает, как жидкость, из отверстий, чем практика пользуется для приготовления тонкой свинцовой проволоки, свинцовых труб и прочих изделий.

Железо, при температуре 800—1300°, вполне напоминает в этом отношении свинец: предел упругости его равен нулю, всякий удар меняет или оставляет следы на куске раскаленного железа. Под давлением раскаленное железо прекрасно заполняет форму сосуда, в котором оно заключено, чем пользуются при штамповке изделий очень сложных форм, причем характерна полная однородность, так сказать, слитность, штампованного изделия.

Приготовляя железные трубы, проволоку, листы, практика не пользуется методом, основанным на текучести /раскаленного железа, как готовят эти предметы из свинца, но не потому, чтобы тому препятствовали свойства железа. Несомненно, раскаленное железо легко потечет при небольшом давлении и даст прекрасные



изделия. Трудность установки такого производства заключается в приготовлении сосуда и очка, из которого под давлением должно потечь железо.

Было бы ошибочно думать, что свойством текучести обладают только немногие вещества. Напротив того, мы имеем все основания думать, что текучесть свойственна всем телам, раз они подвергнуты достаточному давлению.

При температурах, смежных с температурой плавления, когда предел упругости понижается до нуля, тела приобретают свойства текучести при небольших давлениях (например, текучесть льда в ледниках).

При температурах, удаленных от точки плавления, давление должно превосходить предел упругости.

**Связь текучести с прокаткой.** Прокатка пользуется текучестью железа для приготовления всевозможных сортов железа.

Прокатные валы должно рассматривать как сосуд, в котором раскаленное железо, увлеченное силой трения в валах, подвергается давлению, достаточному для вытекания его из фасонной щели между ними. Движение и масса валов обеспечивают низкую температуру как сосуда, так и стенок ручья, из которого вытекает прокатываемый сорт.

Как мы увидим ниже, процесс прокатки чрезвычайно сложен и представляет громадные трудности для понимания его до тех пор, пока мы не применим к нему законов текучести.

Раз мы усвоим себе точку зрения, что увлеченный в промежуток между вращающимися валами кусок раскаленного железа прессуется и вытекает затем из щели между валами, мы тотчас начнем легко разбираться во всех сложных явлениях прокатки.

**Связь текучести с прессованием.** Текучестью металла под давлением объясняются очень хорошо и процессыковки и прессования раскаленного железа под прессами или молотами, причем так как самое явление прессования гораздо проще, чем прокатка, то законы текучести легче усвоятся на этих более простых примерах, к рассмотрению которых мы теперь и перейдем.

Возьмем цилиндрок AA (фиг. 1) и подвергнем его давлению между наковальней и бойком пресса. Цилиндрок AA получит форму боченка BB. Давление, которому нужно подвергнуть этот цилиндрок, чтобы раздавить его в боченок, зависит прежде всего от материала цилиндрика: железный цилиндрок раздавится труднее, чем свинцовый. Если мы имеем железный цилиндрок при различных температурах, то сопротивление его раздавливанию зависит прежде всего от температуры.

Дален (Dalen) произвел нижеследующие наблюдения над ковкой железа под гидравлическим прессом. Проковывался слиток  $290 \times 260$  мм. При желтом калении (приблизительно  $1200^{\circ}\text{C}$ ) на  $1 \text{ мм}^2$  проковываемого слитка давалось давление  $4,3 \text{ кг}$  ( $430 \text{ атм}$ ).

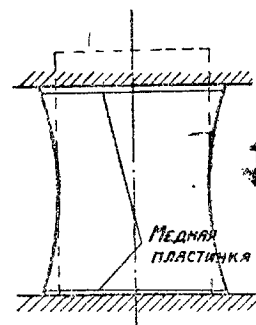
При темножелтом ( $1100^{\circ}$ )	—	5,04	кг на $1 \text{ мм}^2$
„ светлокрасном ( $1000^{\circ}$ )	—	5,32	„ „ 1 „
„ темнокрасном ( $800^{\circ}$ )	—	12,63	„ „ 1 „
„ буром калении ( $700^{\circ}$ )	—	13,96	„ „ 1 „
„ темнобуром калении ( $600^{\circ}$ )	—	17,61	„ „ 1 „

При очень энергичной ковке, когда внутренние части слитка сохраняли очень высокую температуру, сопротивление ковке понижалось до  $3,8 \text{ кг}$  на  $1 \text{ мм}^2$ .

Итак, мы видим, что текучесть железа зависит от температуры; с понижением температуры надо употребить значительно большее давление, чтобы заставить течь металл.

**Зависимость текучести от трения между прессуемым образцом и бойком пресса.** Мы видели, что раздавливаемый между бойком и наковальней цилиндрок получает бочкообразную форму. При разрушении раздавливаемого прессом кубика из цемента мы получим две пирамиды, обращенные друг к другу вершинами (фиг. 2).

Такое разрушение подвергаемых давлению образцов есть следствие трения, возбуждавшегося между раздавливаемым образцом и наковальней и бойком пресса. Если ослабить это трение, то форма разрушения меняется. Например, достаточно смазать вазелином боек и наковальню пресса, раздавливающего кубик портландского цемента, чтобы разрушение кубика потеряло вид двух пирамид, а этот последний разбился бы вертикальными трещинами на столбчатые частицы. Если между основанием раздавливаемого железного цилиндрика и бойком пресса положить тонкую прокладочку красной меди, то испытуемый железный цилиндрок раздавливается не в боченок, а в цилиндрок же с ушпренными основаниями (фиг. 3).



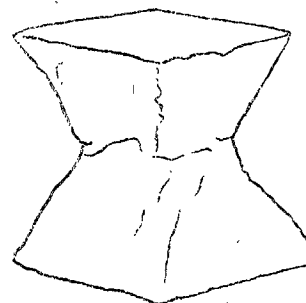
Фиг. 3.

И в том и в другом случае устранение трения между бойком и раздавливаемым образцом облегчает истечение металла и цемента, и сопротивление их раздавливанию заметно падает.

Кубик цемента, основание которого смазано вазелином, раздавливается в два раза легче, чем кубик несмазанный.

**Зависимость текучести от высоты раздавливаемых цилиндриков и их диаметра.** Трение между бойком пресса и основаниями цилиндриков задерживает истечение металла, т. е. раздавливание цилиндриков тем значительнее, чем высота цилиндриков меньше.

Вот причина, почему для осадки на определенную величину цилиндриков большой высоты нужна нагрузка меньшая, чем для осадки низких цилиндриков на ту же высоту.



Фиг. 2.

Кодрон (Codron) опубликовал следующие свои опыты: сжатие подвергались цилиндрики диаметром в 20 мм, осадка каждый раз равнялась 1 мм. Оказалось, что для такой осадки при различной высоте цилиндриков понадобилось различное напряжение металла на 1 мм<sup>2</sup>, а именно:

ТАБЛИЦА 9.

Высота цилиндрика	Свинец	Медь	Латунь	Литое железо	
	Давление в кг на 1 мм <sup>2</sup> для осадки цилиндрика на 1 мм его высоты				
20 мм . . . . .	0,8	30	50	50	60
10 " . . . . .	1,3	42	80	80	100
5 " . . . . .	2,7	70	140	150	180

В данном случае, очевидно, трение между щеками бойков и основаниями раздавливаемых цилиндров задерживает растекание металла, прилежащего к бойкам, который, благодаря существованию внутреннего трения между частицами, задерживает растекание средних частиц цилиндрика (фиг. 4).

В цилиндриках большой высоты роль этой задержки меньше, чем в цилиндриках малой высоты.

Чтобы выяснить влияние трения, Кодрон видоизменил этот опыт.

Он взял свинцовые кружки все одной и той же высоты в 5 мм, но разных диаметров, и определил давление на 1 мм<sup>2</sup>, нужное для осадки этих цилиндров до высоты в 4,5 мм, т. е. на 0,5 мм.

Оказалось, что чем диаметр кружка больше, тем большее давление на 1 мм<sup>2</sup> надо употребить для осадки его на 0,5 мм<sup>2</sup>.

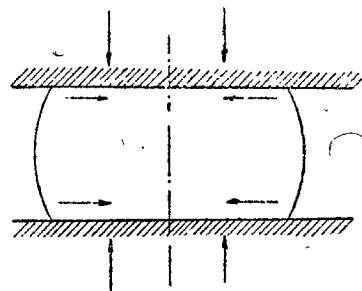
ТАБЛИЦА 10.

Диаметры кружков до осадки в мм . . . . .	10,0	20,0	30,0	40,0	50,0	60,0	80,0	100,0
То же, после осадки в мм . . . . .	10,5	21,5	31,6	42,5	52,7	63,3	84,4	105,2
Давление на 1 мм <sup>2</sup> площади кружков в кг . . . . .	1,04	2,2	3,7	4,4	5,02	5,7	6,05	6,75

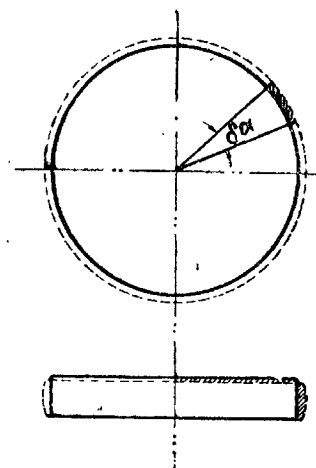
Чтобы объяснить себе причину, почему при осадке большого кружка необходимо большее давление, обратим внимание на путь, который совершает частица при раздавливании кружка (фиг. 5).

В данном случае металл из элементарного сектора, соответствующего дуге  $\delta\alpha$ , перемещается в соответствующую дуге часть кольца, причем объем переместившегося металла равен площади сектора на осадку цилиндрика и равен объему соответствующей части кольца.

Если принять, что весь объем металла переместился из центра



Фиг. 4.



Фиг. 5.

тяжести сектора в центр тяжести кольца, то легко вычислить длину пути такого перемещения.

Для диаметра кружка в 10 мм этот путь будет равен 1,79 мм, а для кружка в 100 мм он будет равен 18,0 мм.

При перемещении металла затрачивается работа на преодоление трения тем большая, чем больше путь перемещения металла, а так как вертикальная осадка для кружка в 10 мм и 100 мм одинакова — 0,5 мм, то большая работа по перемещению металла совершается за счет увеличенного давления.

Отношение давлений на 1 мм<sup>2</sup> равно:

$$6,75 : 1,04 = 6,5 \text{ раза.}$$

Отношение путей перемещения равно:

$$18,0 : 1,79 = \sim 10 \text{ раз.}$$

Отсюда следует, что давление возрастает слабее, чем можно было бы ожидать.

**Зависимость давления от скорости истечения.** Если явление сжатия цилиндров под прессом есть частный случай истечения и сдавливаемый под прессом металл, так сказать, оживает, то быстрое сжатие должно требовать большего давления, чем медленное, ибо при быстром сжатии скорость истечения большая, чем

при медленном, а скорость истечения зависит от давления по закону Бернулли:

$$V = \mu \sqrt{2gh},$$

где  $h$  — есть напор, или давление.

Опыты подтверждают это умозаключение:

Кодрон взял два одинаковых цилиндрика  $d = 18,7$  мм и  $h = 30$  мм. Один из них он расплющил в кружок в 2,5 мм толщины в 18 минут, при чем нагрузка постепенно возрастала от 290 кг до 38 000 кг. Другой такой же цилиндрок он раздавливал очень медленно в такой же кружок в 2,5 мм, причем начальная нагрузка была 230 кг, а конечная — 28 000 кг, т. е. меньше в

$$38\,000 : 28\,000 = 1,36 \text{ раза.}$$

Другой опыт, сделанный Кодроном, носил такой характер:

Он взял свинцовый цилиндрок  $d = 38$  мм и  $h = 34,5$  мм и задался целью одинаково осадить его ударами бабы копра в 11 кг весом, поднимаемой с различной высоты. Когда он поднимал бабу на 8 м, то для осадки этого цилиндрика затрачивалось 88 килограммометров работы.

С 6 м	затрачивалось	82 км
" 3 "	"	74 "
" 2 "	"	67 "
" 1 "	"	59 "

При раздавливании цилиндрика прессом понадобилось всего 26 км.

Итак, при осадке ударами большой скорости следовало быстрое истечение металла, и работы расходовалось больше, чем при осадке прессом с давлением малой скорости.

Разница в количестве работы, затрачиваемой в этом и другом случаях, громадна — в три раза.

Свинцовый кружок 30,6 мм высоты и 18,2 мм диаметром сдавливался до 2,5 мм в 18 минут и в 4 часа 12 минут, т. е. в 15 раз дольше. Быстрое сжатие потребовало работы на  $мм^2$  в 1,5 раза больше.

При сжатии свинцовой трубки сопротивление до тех пор не увеличивается, пока сжимаются и утолщаются стенки; раз же получается кружок, принужденный расплываться, давление увеличивается крайне быстро.

Пример работы молота и работы растяжения: брусок  $150 \times 150 \times 450$  мм, с 118 ударов молота весом 3300 кг, с высоты 1000 мм прокован в  $85 \times 85 \times 1320$  мм.

Работа молота:

$$118 \times 3300 \times 1,0 = 389\,400 \text{ км.}$$

Перемещение металла:

$$85 \times 85 \times (1\,320 - 450) = 6\,285\,750 \text{ мм}^3.$$

На 1  $см^3$  придется:

$$389\,400 : 6\,285\,750 = 62 \text{ км.}$$

Работа вытягивания, при сопротивлении на  $1 \text{ мм}^2 = 6 \text{ кг}$ , будет  $(150 \times 150 \times 6) \cdot (1\,320 - 450) = 117\,450 \text{ км.}$

Отношение между работой молота и работой вытягивания равно  $389\,400 : 117\,450 = 3,3$  раза.

Сопротивление заклепыванию холодной железной заклепки на  $1 \text{ мм}^2$  (диаметр заклепки 14 мм) от 34 кг в первый момент до 307 кг в конце. Горячая заклепка 14 мм диаметром: напряжение на  $1 \text{ мм}^2$  сечения вначале 11 кг, в конце 110 кг. Конечное напряжение в 10 раз больше первоначального.

Между работой по прессованию свинца и нагретого железа существует отношение 1:5.

Быстрая прокатка должна увеличивать уширение, ибо сопротивление прокатки (работа) должно увеличиваться; вот почему при быстрой прокатке металл греется и этим путем уменьшает работу прокатки.

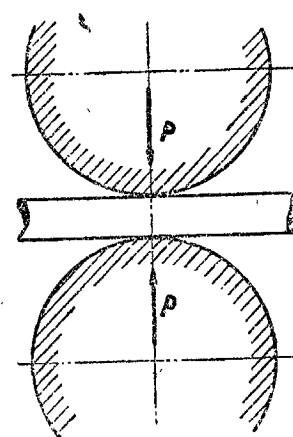
**Общий вывод.** Итак, мы видим, что давление, вызывающее истечение, есть функция трех переменных:

- 1) температуры железа, или междучастичного трения железа;
- 2) трения между частицами железа и материалом прессующих бойков, что порождает зависимость давления от высоты и диаметра раздавливаемых образцов, и
- 3) от скорости истечения; увеличение скорости истечения происходит за счет увеличения давления.

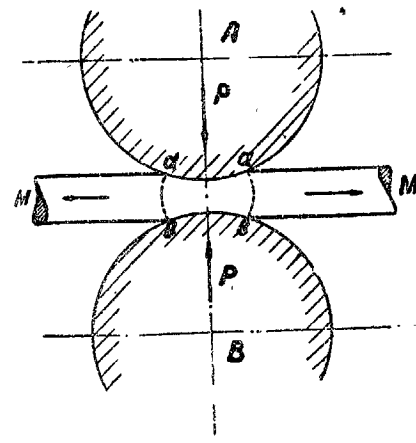
### ГЛАВА III.

#### Обработка железа прокаткой.

**Явление прокатки как случай истечения металла.** Итак, пусть кусок железа задан в движущиеся друг другу навстречу валы и прокатывается между ними. Что же делается в это время с металлом?



Фиг. 6.



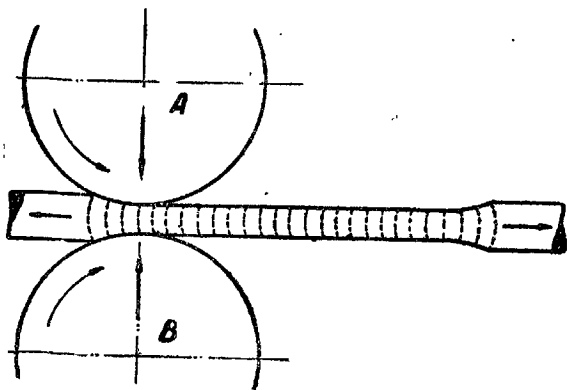
Фиг. 7.

Чтобы уяснить себе это, заменим прокатные валки цилиндрическими бойками пресса, как показано на фиг. 6. Представим себе, что середина полосы  $ММ$  сдавлена цилиндрическими бойками пресса; результатом такого прессования будет то, что отрезок  $aabb$  (фиг. 7)

раздавится и получит бокообразную форму, причем при сближении бойков пресса части полосы будут выталкиваться в разные стороны, как показано стрелками, а металл будет выжиматься из валов в том же направлении.

Теперь представим себе, что бойкам пресса *A* и *B* дано вращательное движение друг другу навстречу (фиг. 7 и 8).

Так как между бойком *A* и *B* и полосой существует трение, то движущиеся по направлению стрелок поверхности валов потащат в валы находящуюся между ними часть полосы *aabb*, которая за-



Фиг. 8.

тянет соседнюю с ней с левой руки новую часть. Но так как при движении части полосы *ab* приходится вступать все в более и более тесное пространство, то зажатая между валами часть полосы начнет испытывать давление, и в то же время начнется выжимание или истечение металла из валов в сторону, обратную движению полосы.

Таким образом, поверхностные, удерживаемые трением частицы металла увлекаются движением валов вперед, по направлению прокатки; сдавливаемые валами срединные частицы металла выжимаются из валов по направлению, обратному прокатке, и потому слои прокатываемой полосы изгибаются, как показано на фиг. 8.

Возьмем два цилиндрических бойка пресса диаметром, равным диаметру валов. Между бойками положим кусок железа прямоугольного сечения, две стороны которого *aa* (фиг. 9) выкружены согласно бойкам. Нажмем пресс: плоские грани железа сделаются выпуклыми, но стороны *aa* крепко прильнут к бойкам, и раздутие произойдет в середине (фиг. 10), причем выпуклая окружность будет нормальна к обеим поверхностям бойков.

Нажмем пресс еще. Железо раздавится в блин (фиг. 11); поверхности *aa* не в состоянии будут уже сдержать скольжения железа по поверхности бойка, и железный блин будет касаться бойка уже по поверхности *bb*.

Итак, при неумеренном давлении в прокатных валах может явиться скольжение металла, направленное против направления прокатки. Этого скольжение, или нарушение сцепления между бойками и железом, и есть коренная причина останковки железа в валах.

Какое давление можно давать в ручьях без опасения, что произойдет скольжение железа в валах? Решение этой задачи есть решение задачи об угле захвата. Очевидно, что скольжения обратного движению валов не будет только тогда, когда площади полусегментов *abg* и *fdi* будут меньше треугольника *bcd* (фиг. 12) и металл, выжимается валами, найдет помещение в этом треугольнике.<sup>1)</sup>

Площадь этого треугольника будет:

$$\frac{\Delta}{2} \cdot \frac{\Delta}{2} \cdot \operatorname{tg} \alpha = \frac{\Delta^2}{4} \operatorname{tg} \alpha.$$

<sup>1)</sup> На самом деле скольжение имеет место (см. ниже), так как треугольник *bcb* заполнен металлом, поступающим в валы.

Площадь сегмента равна

$$F = \frac{r}{2} \left( \operatorname{arc} 2gb - r \sin 2\alpha \right).$$

Подставляя значения величины дуги, получим

$$\frac{r}{2} \left[ \sqrt{(2r \sin \alpha)^2 + \frac{16}{3} x^2} - r \sin 2\alpha \right] \leq \frac{\Delta^2}{4} \operatorname{tg} \alpha \quad (1)$$

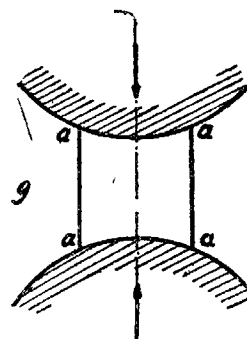
Затем

$$\cos \alpha = \frac{r - x}{r} \quad (2)$$

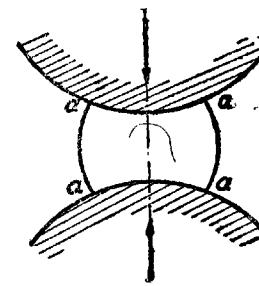
Эти два уравнения служат для решения вопроса о возможности захвата валами полосы.

Пример Нижне-Саадинского завода (фиг. 13).

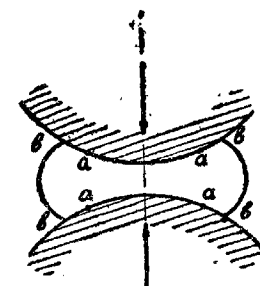
$$\cos \alpha = \frac{325 - 50}{325} = 0,848; \alpha = 31^\circ.$$



Фиг. 9.



Фиг. 10.



Фиг. 11.

Площадь треугольника

$$\left( \frac{\Delta}{2} \right)^2 \operatorname{tg} \alpha = 175^2 \cdot 0,601 = 18400 \text{ мм}^2.$$

Площадь сегмента:

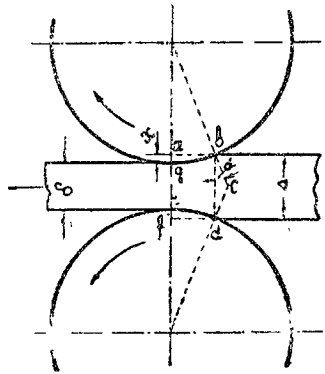
$$\frac{r}{2} \left[ \sqrt{(2r \sin 31^\circ)^2 + \frac{16}{3} x^2} - r \sin 62^\circ \right] = 162,5 \left[ \sqrt{(650 \cdot 0,515)^2 + \frac{16}{3} 50^2} - 325 \cdot 0,883 \right] = 9440 \text{ мм}^2.$$

Площадь сегмента меньше площади треугольника.

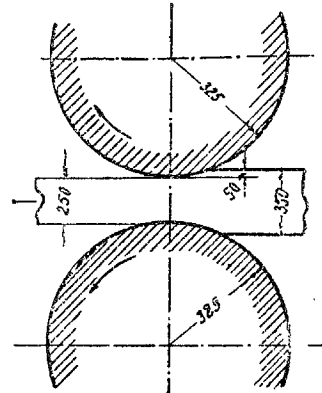
Итак, металл имеет в валах два движения: а) поверхностные частицы следуют движению поверхности валов — вперед; в) внутренние слои имеют попятное движение — назад из валов. Этим двум движениям соответствуют и две силы: 1) вращательная сила машины и 2) выжимающее металл из валов усилие. Эти две силы, взаимно противоположные, обуславливают вытягивание полосы в длину.

Найдем математическое выражение для этих сил по способу, предложенному проф. И. И. Мещерским. Имеем пару валов, движущихся друг другу навстречу; между ними — прокатываемая полоса (фиг. 14). Валы нажаты друг к другу силами  $P$  и захватывают полосу дугами  $\alpha$ , соответствующими углу захвата  $\alpha$ .

Валы давят на металл, прокатываемый между валами, и его ожижают, а потому элементы дуги угла захвата  $\alpha$  испытывают равномерное гидростатическое давление на единицы площади валов<sup>1)</sup>, или, что то же, на элементы дуги  $\alpha$ . В таком случае равнодей-



Фиг. 12.



Фиг. 13.

ствующая всех давлений на дугу  $\alpha$  пойдет по середине дуги  $\alpha$  и разделит угол  $\alpha$  пополам. Назовем ее через  $P_1$ .

Нижний вал давит также на полосу прокатываемого железа равномерно по всей дуге  $\alpha$ , и равнодействующая его давлений также пройдет через середину дуги  $\alpha$ .

Эти равнодействующие давлений, силы  $P_1, P_2$ , суть одни из слагающих вертикальных давлений  $P-P$ , которыми валы нажаты друг к другу во время прокатки. Другие слагающие  $QQ$  горизонтальны<sup>2)</sup>.

Суммируя силы  $P_1, P_2$ , получим равнодействующую  $R$ , величина которой равна:

$$\frac{R}{2} = P_1 \cdot \sin \frac{\alpha}{2} = P \frac{\sin \frac{\alpha}{2}}{\cos \frac{\alpha}{2}} = P \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}; R = 2 \cdot P \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}.$$

Приняв  $\alpha = 22^\circ 20'$ , получим  $R = 2P \cdot \operatorname{tg} 10^\circ 10' = 0,36P$ .

Отвечает ли эта формула действительности?

<sup>1)</sup> Это было бы правильно только при том условии, когда коэффициенты трения прокатываемого металла о валки и частиц прокатываемого металла между собою были бы равны нулю, т. е. когда прокатываемый металл был бы жидким. А раз она выше нуля, то давление на единицу поверхности валов тем больше, чем ближе к линии, соединяющей центры валов. Н. С.

<sup>2)</sup> Боковые вкладыши валов не испытывают давления от горизонтальных сил, ибо последние уничтожаются трением металла о валы. Н. С.

Правильно ли наше предположение, что элементы дуги угла захвата испытывают равномерное гидростатическое давление ожиженного металла?

Ответом на эти вопросы может служить попытка приложения этой формулы к опытным исследованиям прокатки Кодрона.

Для опытов Кодрона служила пара валов диаметром 100 мм. Валки приводились во вращательное движение при помощи на-вернутой на них мягкой проволоки, концы которой привязывались к динамометру. Один вал прижимался к другому при помощи груза  $P$ , который менялся в различных условиях опыта от 350 кг до 930 кг (фиг. 15).

В этом опытном стане катался свинец  $20 \times 20$  мм, причем после каждого пропуска измерялась длина, толщина и ширина бруска, а также истинная длина пути точки на окружности валиков, и по разности определялась величина опережения полосы, которая равнялась 2—6% длины прокатываемой полосы. Затем измерялась по динамометру сила  $R_1$ . Нагрузка на валики  $P$  известна. Из усилия  $R_1$  вычитался расход силы на трение, и определялась полезная сила  $R$ .

Эти опытные данные сосредоточены в первых восьми колонках приложенной таблицы (табл. 11).

В остальных 9—14 колонках сосредоточены результаты наших вычислений, проверяющих формулу для силы  $R$ .

На основании выражения

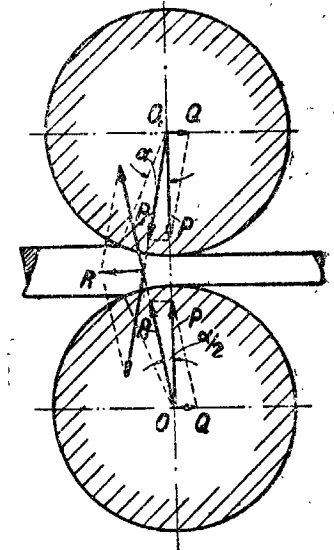
$$\frac{\Delta - \delta}{2} = r (1 - \cos \alpha)$$

определялась величина косинуса угла захвата  $\alpha$  и угол захвата (колонка 10).

В колонке 11-й помещены вычисленные длины дуг в колонке 12-й — площади соприкосновения между полосой и валами. Если разделить силу на площадь соприкосновения, то мы получим давление в кг/мм<sup>2</sup>, ожижающее свинец (колонка 13), и, наконец, пользуясь выражением

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

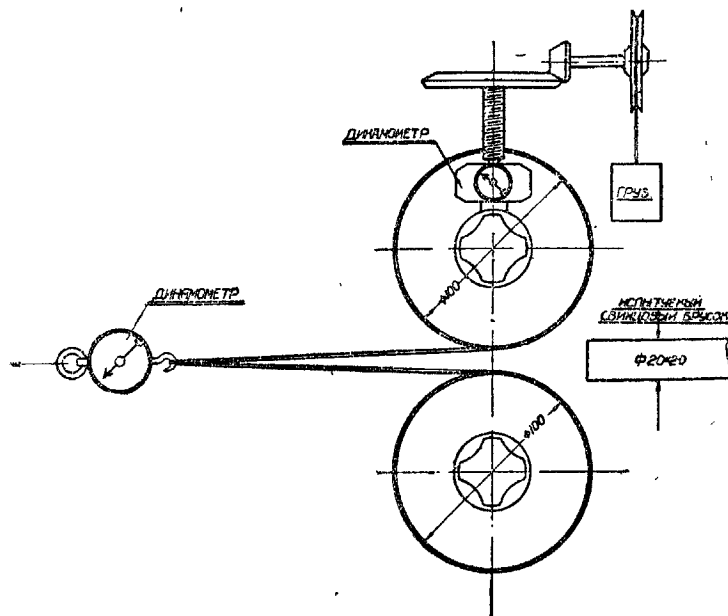
можем найти вычисленную величину силы (колонка 14), сопоставив которую с действительно измеренной силой (колонка 8), мы можем судить о степени достоверности математического выражения для силы  $R$ .



Фиг. 14.

Сопоставление колонок 8 и 14 дает нам возможность убедиться, что, рассматривая давление металла на поверхность металла как давление жидкости, мы были весьма близки к истине.

Нельзя не заметить, что большую часть сила  $R$  вычисленная является больше силы  $R$  наблюдаемой, откуда следует, что равнодействующие давлений  $P_1 P_1$  направлены под углами  $\beta < \frac{\alpha}{2}$ , а не под углами  $\frac{\alpha}{2}$ , как мы думали <sup>1)</sup> (фиг. 16). Причину этого не



Фиг. 15.

трудно объяснить с точки зрения истечения, а именно: мы видели, что выжимаемый из зева валов металл едва ли находится постоянно в соприкосновении с поверхностью валов. Полное прилипание поверхности валов к полосе можно допустить только в небольшом расстоянии от линии центров валов, в отверстии же зева валов прилипания допустить нельзя. Вот это-то обстоятельство и уменьшает угол  $\alpha$ , а вместе с тем и силу  $R$ .

Вышеприведенная таблица дает возможность установить, что давление, оказываемое свинец при прокатке, близко к его сопротивлению на разрыв ( $2 \text{ кг/мм}^2$ ), когда полоса толстая. Чем тоньше полоса, тем давление, оказываемое свинец, делается все больше и больше, достигая при толщине  $0,05 \text{ мм}$  колоссальной цифры в  $16 \text{ кг/мм}^2$ . Чем диаметр валов больше, тем больше путь истечения для свинца и тем выше давление, а именно: при диаметре

валов  $d=100$ ,  $P=2-2,6 \text{ кг/мм}^2$ ; при диаметре валов  $d=167 \text{ мм}$ , давление на  $1 \text{ мм}^2$  повышается до  $3-3,5 \text{ кг/мм}^2$ , что совершенно согласно с данными о сжатии невысоких цилиндров под прессом. Вращательная сила валов должна быть равна  $R$ .

$$2Q = R = 2P \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} = 0,36 P,$$

при  $\alpha = 22^\circ 20'$ .

Что такое сила  $P$ ?

Это — сила, доводящая металл до текучести. Она есть функция плоскости соприкосновения вала с полосой, а следовательно, прямо пропорциональна дуге  $\alpha$  и радиусу вала  $r$ .

Назвав через  $q$  давление в  $\text{кг/мм}^2$ , получим давление на единицу ширины полосы:

$$P = q \cdot r \cdot \sin \alpha.$$

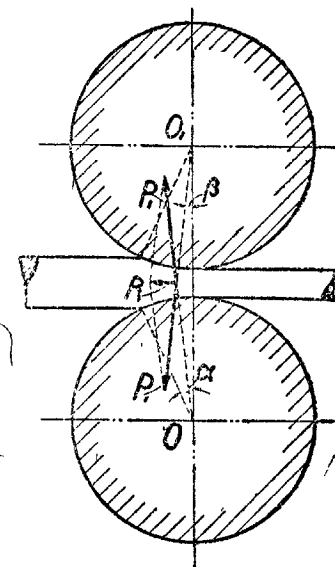
Итак, механизм прокатки нам делается ясен: поверхности валов, прижатые к полосе, возбужденным трением увлекают и тянут полосу вперед; толстая часть полосы, не могущая пройти в щель между валами, сдавливается ими и выжимается из валов силой  $R$ .

Эти две силы, равные и противоположные, удлиняют полосу так, как будто бы она вытягивалась на разрывном прессе <sup>1)</sup> (фиг. 17).

В реальности силы  $R$  не трудно убедиться. Если взять кусочек теста и начать раскатывать его в сочень, то мы увидим, что, накатывая скалку, мы заставим тесто подвигаться в направлении от накатывающейся скалки. Тесто будет выжиматься и образует перед скалкой даже волну — утолщение (фиг. 18). Такая же волна, или накат, имеется и в полосе прокатываемого железа, как увидим ниже.

Теперь же обратим внимание на то, что, раскатывая тесто скалкой на доске, мы принуждены бываем все время опыливать доску и поверхность скалки или сочня мукой. Если опыление будет слабо и тесто начнет прилипать к доске или скалке, процесс раскатки теста станет невозможным, ибо движение теста, обратное движению поверхности скалки, и движение теста по доске невозможны.

Очевидно, явление выжимания теста будет иметь место и в том случае, когда вместо раскатной доски мы будем иметь пару вра-



Фиг. 16.

<sup>1)</sup> Это совершенно верно. Отсюда и заключение, что силы  $Q$  уравновешиваются силой  $R$ , т. е. давление на боковые вкладыши валов отсутствует. Н. С.

<sup>1)</sup> Это служит подтверждением моего примечания, что удельное давление у линии центров всегда выше, чем в начале захвата. Н. С.

ТАБ  
Исследование прокатки

ЛИЦА 11.  
Кодроза (Codron).

Условия опыта	Длина в мм	Ширина в мм	Толщина в мм	Обжатие верти- кальное в мм	Ушире- ние в мм	Опере- жение в мм
	1	2	3	4	5	6
Свинцовая полоска 20×20 мм прокатывалась в валах $d=100$ мм при $P=480$ кг и сопроти- влении трению 70 кг.	1000	20,0	20,0	—	—	—
	1125	20,6	17,2	2,8	0,6	45
	1290	21,1	14,7	2,5	0,5	50
	1482	21,6	12,5	2,2	0,5	62
	1690	22,0	10,7	1,8	0,4	70
	1970	22,5	9,0	1,7	0,5	80
	2420	22,9	7,4	1,6	0,4	100
	2860	23,4	5,9	1,5	0,5	120
	3650	23,8	4,6	1,3	0,4	150
	4820	24,1	3,4	1,2	0,3	190
Свинцовая полоска 20×20 мм прокатыва- лась в тех же валиках $P=350$ кг, трение 50 кг.	1000	20	20,0	—	—	—
	первый пропуск 1070	20,4	18,5	1,5	0,4	40
	6-й пропуск 1520	22	12,0	1,2	0,2	60
	13-й пропуск 3700	23,8	4,5	0,9	0,2	150
Свинцовая полоска 20×20 мм прок. в ва- ликах $d=167$ мм, на- грузка 930 кг, трение 72 кг.	1000	20,0	20,0	—	—	40
	1120	21,0	17,0	3,0	1,0	50
	1270	21,7	14,5	2,5	0,7	75
	1450	22,3	12,3	2,2	0,6	140
	8-й ручей 4000	25,5	3,9	1,3	0,5	12800
	18-й ручей 286000	28,0	0,05	0,05	0,1	—
То же, нагрузка 350 кг, трение 30 кг.	1-й пропуск 1032	20,2	19,1	0,9	0,2	20
	20-й пропуск 2050	22,1	9,1	0,4	0,1	38
	39-й пропуск 8890	24,0	1,9	0,3	0,1	180

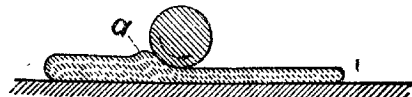
Враща- тельная сила, измерен- ная в кг	Полезная враща- тельная сила $R$ в кг	$1 - \frac{\Delta - \delta}{2r} =$ $= \cos \alpha$	Угол захвата $\alpha$	Длина дуги $a$ в мм	Площадь соприко- сновения валов с полосой в мм <sup>2</sup>	Текущая возбу- ждается при $R_{кг/мм^2}$	Вычис- ленная сила $R$ в кг
7	8	9	10	11	12	13	14
180	110	0,972	13°30'	11,78	242	2,00	113
175	105	0,975	12°30'	11,20	236	2,04	103
170	100	0,978	12°00'	10,47	226	2,12	108
164	94	0,982	10°50'	9,45	208	2,30	91
158	88	0,983	10°30'	9,16	206	2,30	88
152	82	0,984	10°10'	8,87	203	2,36	85
144	74	0,985	9°50'	8,70	203	2,36	82
138	68	0,987	9°10'	8,00	190	2,52	77
130	60	0,988	8°50'	7,70	186	2,60	74
—	—	—	—	—	—	—	—
120	70	0,985	9°50'	8,70	177,5	2,03	60
116	66	0,988	8°50'	7,70	169,4	2,07	54
100	50	0,991	7°40'	6,69	159,0	2,20	47
230	158	0,982	10°50'	15,78	331,5	2,85	176
225	153	0,985	9°50'	14,33	311	3,03	160
210	138	0,9864	9°30'	13,84	308	3,00	154
180	108	0,9922	7°10'	10,44	266	3,50	116
78	6	0,9997	1°25'	2,06	58	16,00	21,5
—	—	—	—	—	—	—	—
60	30	0,9946	6°00'	8,75	177	2,00	36,75
56	26	0,9976	4°00'	5,83	129	2,70	24,5
52	22	0,9982	3°30'	5,10	122	2,87	21,4

шающихся валов, а прокатываемая полоса будет двигаться в валах. В этом случае выжимающая сила будет направлена из валов, и движение металла в ней будет попятное.

Из предыдущего ясно, что в этих случаях рассчитывать на постоянное прилипание частей  $aa$  (фиг. 19) к поверхности валов нельзя. Прочная связь между валами и поверхностью валов возможна только в непосредственном соседстве с линией  $OO_1$ , во



Фиг. 17.



Фиг. 18.

внешних же частях угла обхвата связь полосы с валами должна прерываться.

Это можно видеть из следующего опыта Дени (*Dény*). Свинцовая полоса  $34,5 \times 21$  мм была им прокатана в валах  $d = 200$  мм в 1 пропуск до 10,8 мм. Предварительно на боковых гранях этой полосы были сделаны деления через 5 мм. После прокатки можно заметить, что расстояния между делениями при проходе полосы через валы постепенно увеличились с 5 до 8,3 мм, изогнулись

назад и постепенно смешались по поверхности валов спереди назад.

Таким образом, опыт Дени подтвердил наличие попятного движения полосы из валов и отсутствие прилипания поверхности валов к полосе. Наличие прилипания возможно только в частях, смежных с линией, соединяющей центры валов, для очень малых углов захвата. Для углов захвата разность  $(r - r \cos \alpha)$  так мала, что она может быть возмещена уширением и опережением полосы, как мы увидим ниже.

Что при прокатке мы действительно имеем дело с вытеканием железа, направленным обратным движению полосы, нас убеждает следующий опыт Холленберга (*Hollenberg's*).

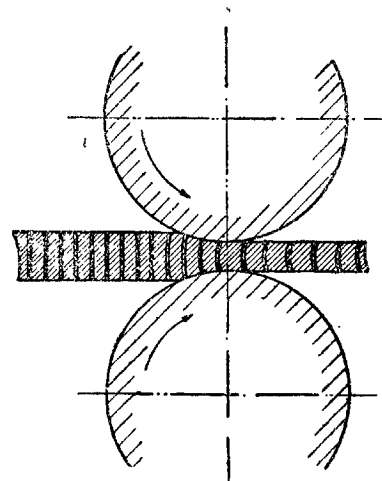
Перед прокаткой Холленберг просверлил болванки и вставил в образовавшиеся отверстия проволоки из меди; затем нагрел болванку и пропустил через валы. Проволоки оказались изогнутыми в сторону, обратную движению валов (фиг. 20).

Если во время прокатки быстро остановить машину, то на части полосы, поступившей в валы, можно увидеть волну выжимаемого металла  $aa$  (фиг. 19). Но истечение металла происходит не только в одну сторону, обратную движению прокатываемой

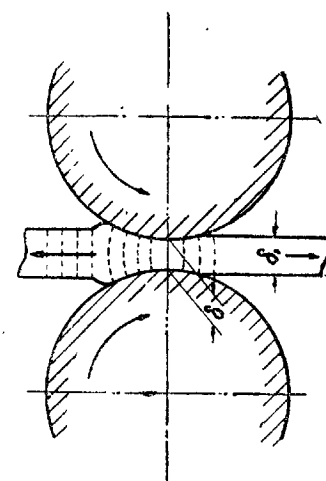
полосы. Если бы это было так, то прокатку нельзя было бы приравнивать к истечению. В данном случае, раз металл оказался в зеве валов под давлением, делающим его текучим, то он должен вытекать во все стороны, куда только может.

Вот эта-то способность прокатываемого металла распространяться во все возможные стороны и убеждает нас в том, что, объясняя явления прокатки истечением, мы находимся на правильной точке зрения. Мы видели, что выжимаемый валами вперед металл создает перед валами в прокатываемой полосе, так сказать, очаг повышенного давления. В этом очаге все частицы сжаты, напряжены и ищут выхода разрядить свое напряжение во все стороны.

Наиболее легкий выход из этого напряжения является истечение металла назад, как мы видели выше. Однако, раз материал напряжен, то возможно истечение и вперед. И действи-



Фиг. 20.



Фиг. 21.

тельно, все писавшие о прокатке в один голос утверждают и приводят многочисленные примеры, что длина прокатанной полосы более длины окружности валов, прокативших полосу.

Отсюда следует, что истечение металла направляется не только назад, но и вперед (фиг. 21).

Истечение вперед дает „ускорение“, или „опережение“ („*Vorgelung*“), которое представляет величину крайне переменную в зависимости от условий прокатки.

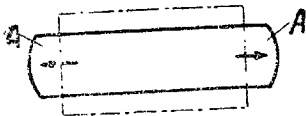
Дени (*Dény*) в своей классической работе по прокатке описывает нижеследующие свои опыты для определения „ускорения“.

Так как в 70-х годах пирометров не было, то температуру Дени определял по усадке железного бруса в 1000 мм длины. Опыты велись при желтом калении (усадка 18 мм на метр) и красном калении (12 мм на метр). Полоса была толщиной 30 мм

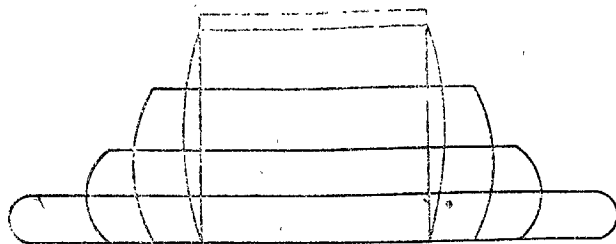


и 15 мм и пропускаться через валы один раз при очень сильном давлении, так что толщина полосы уменьшилась в 2,5 раза.

Вот результаты, им полученные: ускорение или опережение при прокатке железа полосового, квадратного, круглого и т. д. сказывается только на большей длине полосы и проходит почти совершенно незамеченным для прокатного мастера. Другое дело, если

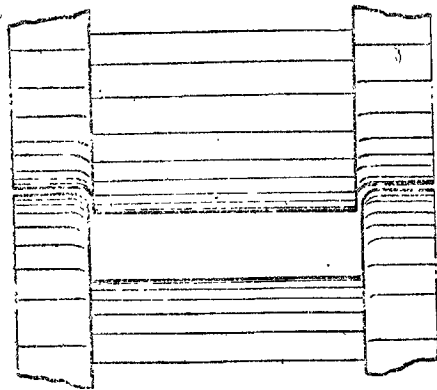


Фиг. 22.



Фиг. 23.

почему-либо полоса не может удлиняться под влиянием ускорения. Тогда увеличивается толщина, и получается так называемый накат в балках и рельсах, о котором мы будем говорить в своем месте. Об уширении. Итак, из очага повышенного давления, образующегося при прокатке впереди валов, металл течет: 1) назад, в раскрытый зев валов, 2) в меньшей степени вперед, в суженную щель калибра и, наконец, 3) может вытекать в стороны. Истечение в стороны дает уширение полосы AA (фиг. 22), представляющее, с одной стороны, могучее средство для достижения калибров-



Фиг. 24.

щиком нужных ему эффектов, с другой стороны — труднейшую задачу для определения при проектировании сложных профилей.

Если прокатка ведется в гладких валах и уширение не стесняется гребнями валов, то прокатанный в несколько пропусков квадрат дает коллекцию сечений, изображенных на фиг. 23. С каждым пропуском полоса делается все шире и шире, но при этом плоские грани квадратной полосы заменяются выпуклыми, а при боль-

шем вертикальном давлении даже полукруглыми. Если полосы катаются в замкнутых ручьях (фиг. 24), то свободное уширение в стороны стесняется, мениск не имеет места для своего развития, и металл заполняет острые углы ручья.

При этом могут получаться:

1) закругленные, не вполне выполненные углы, что очень некрасиво (фиг. 25), или

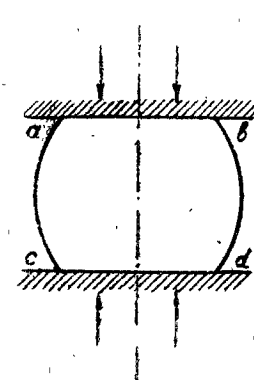
2) полоса с заусенками (фиг. 26), которые приходится удалять специальными машинами или просто осекать и опиливать вручную.

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

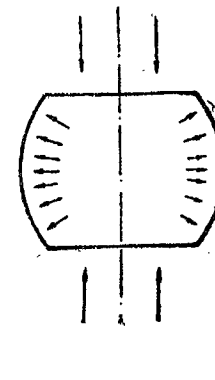
Мы увидим дальше, что уширение зависит от температуры прокатываемой полосы, почему все застуженные в валах полосы выходят с заусенками, слишком горячо прокатываемые полосы с закругленными углами; и только полосы, прокатанные при нормальной температуре, имеют приличный профиль. При прокатке очень длинных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

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

Имеем цилиндр (фиг. 27), подвергнутый сжатию и получивший под влиянием его бочкообразную форму. На поверхности осно-



Фиг. 27.



Фиг. 28.

ваний *ab* и *cd* действует давление прессы и контрдавление цилиндрика; на боковую окружность цилиндрика давления нет, поэтому металл, так сказать, ожигается только под давлением поверхностей основания, металл же боковой поверхности остается нетекучим.

Ожиженный металл стремится потечь во все четыре стороны. Неожженная боковая цилиндрическая поверхность представляет в этом случае

оболочку, изнутри растягиваемую текущим металлом (фиг. 28). Оболочка эта растягивается столько, сколько может. Когда предел ее растяжения будет перейден, она лопается. Таким образом сжатие материала становится в связь с его растяжением.

Растяжение железа в холодном состоянии обыкновенно не превосходит 0,4 — 0,7 его длины (конечно, в шейке растягиваемого образца), откуда следует, что цилиндр при сжатии не может увеличить

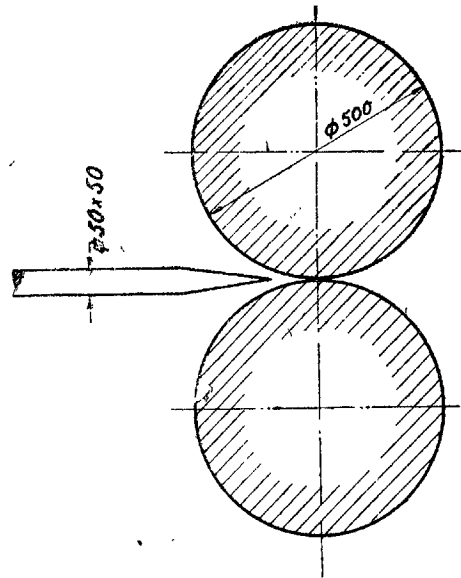
свой диаметр больше, чем на 0,4—0,7 своего диаметра. При раздавливании цилиндрика до большего диаметра получатся уже трещины.

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

Рассмотрев основную причину трещин при давлении, мы можем дать себе полный отчет в оценке предрассудка, повторяемого без-

условно всеми, писавшими о калибровке. Существует мнение, что сильно давить на металл при ковке и прокатке нельзя, что результатом сильного обжатия является разрыв металла.

Принимают обыкновенно, что металл можно осадить в прокатных валах в 1,4—1,5 или 1,6 раза; что при коэффициенте обжатия более 1,75 (до 2) металл рвется в кромках. Однако, это оказалось совершенно неверным. В Нейво-Алапаевском заводе был произведен такой опыт: болванка мягкого литого железа размерами 50×50 мм была заострена на строгальном станке (фиг. 29), нагрета очень горячо и задана в валы, диаметр которых ра-



Фиг. 29.

внялся 500 мм, лежавшие один на другом.

Она была раздавлена в один проход с 50 мм в полосу шириной 75 мм и толщиной 3,5 мм, т. е. в четырнадцать раз, и при этом не было даже признака рванин или трещин. Между тем как и то и другое легко было получить, так как полоса прокатывалась в гладких валах, где внешние боковые части полосы имели свободное уширение и могли играть действительно роль оболочки, растягиваемой текущим металлом изнутри.

Объемлющие замкнутые ручьи (фиг. 30) предохраняют железо от трещин гораздо более ручьев, дающих металлу возможность свободного уширения (фиг. 31), ибо давление текущего металла сдерживается в этих случаях не оболочкой самого металла, а стенками калибра или ручья.

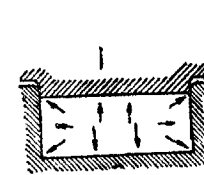
Сернистый, плохо раскисленный литой металл страдает красноломкостью, т. е. склонностью давать трещины и рванины, составляющие иногда главную причину брака. Иногда этим недостатком страдает и очень хороший по качеству металл, но неправильно разлитый по изложницам; в этом случае трещины суть пороки слитков,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

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

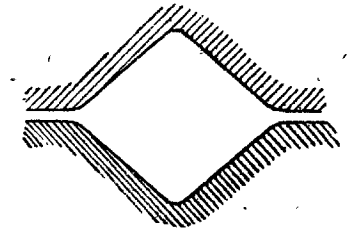
Мы увидим ниже, что иногда при обжимке слитка давят его по несколько раз с одной стороны, потом поворачивают на 90° и давят его с другой стороны опять несколько раз, как показано на схеме (фиг. 32). Эта система

хороша для не красноломкого металла.

Для металла красноломкого предпочтительнее другая система: после каждого пропуска надо поворачивать слиток на 90° (фиг. 33). Еще лучше вести обжимку в закругленных



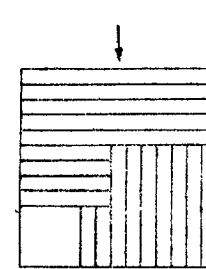
Фиг. 30.



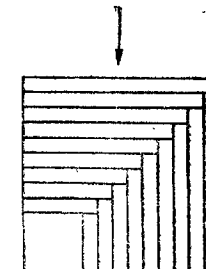
Фиг. 31.

прямоугольных ручьях, дающих катанные поверхности со всех четырех сторон (фиг. 34).

В какой мере сернистый металл оказывается чувствительным к свободному уширению, указывает нижеследующий пример одного завода юга СССР. На этом заводе отливались слитки с сильно



Фиг. 32.



Фиг. 33.

закругленными углами. Обжимную борозду же в прокатных валах делали с малозакругленными углами. При обжимке таких слитков на углах бывали частые трещины и рванины. В этих углах металл, не поддерживаемый стенками калибра, свободно уширялся, и внешняя корка слитка, не выдерживая давления истечения изнутри, легко ломалась.

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

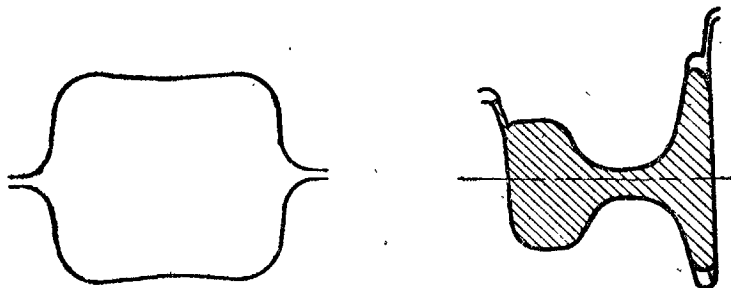
Итак, мы видим, что в видах целостности металла есть основание опасаться только свободного уширения при красноломком металле. Хороший, не красноломкий, правильно разлитый в изложницы

металл можно подвергать какому угодно давлению даже при условии свободного уширения<sup>1)</sup>.

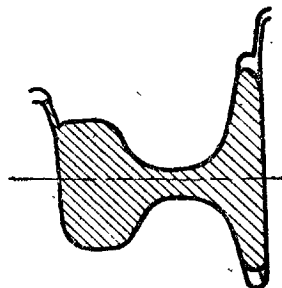
Дени в своем классическом сочинении по калибровке делает такое замечание: хороший металл можно катать, как угодно; что же касается плохого металла, то во избежание трещин и рванин на кромках нужно стараться избегать свободного уширения.

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

При горячей прокатке, сильных давлениях и в особых случаях калибровки, вызывающих повышенное давление в металле во время



Фиг. 34.



Фиг. 35.

прокатки, текучесть металла так велика, что получается в разрезе валов заусенка или зарезина толщиной в лезвие ножа и столь же острая (фиг. 35). Высота этой зарезины-заусенки бывает 10—15—20 мм.

Подумать только, сколько труда и соображений нужно для выделки профилей с фланцами (например, балок, рельсов и т. д.) и какие жалобы мы слышим на то, что фланцы тонки, им даны малые уклоны и т. д., а между тем, в том же прокатном стане, в котором фланец толщиной в 5—6 мм считается трудным для исполнения, выкатываются против нашего желания зарезины в 0,5 мм толщиной.

Получение тонких высоких зарезин свидетельствует с несомненностью, что при надлежащем давлении текучесть металла в прокатном стане бывает весьма велика; как мы увидим ниже, такая текучесть есть следствие повышенного давления металла, вызванного неравномерным распределением давления по всему сечению.

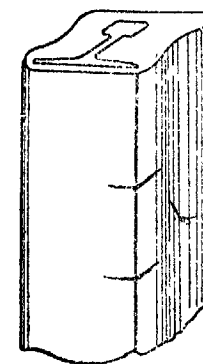
<sup>1)</sup> 1. Очевидно, что боковые стенки слитка, проковываемого под молотом или прессом, всегда подвержены свободному уширению, тем не менее, однако, бандажные болванки отковываются в шайбу вертикальным давлением прессы без признаков трещин.

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

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

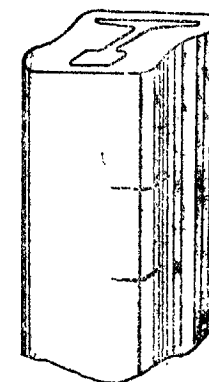
Напротив того, в замкнутых калибрах всякие трещины и рванины закатываются до такой степени, что найти их в готовой прокатанной штуке нет возможности.

Прокатные мастера пользуются этим свойством замкнутых ручьев и выкатывают из слитков с трещинами сходные сорта. Например, при прокатке рельсов нередко приходится иметь дело со слитками, дающими при обжиме трещины (фиг. 36 и 37). Чтобы выкатать из такого слитка сходный рельс, необходимо задать обжатый в квадрат слиток в отделочные валы так, чтобы рванина не попала бы на фланец (фиг. 36), где металл подвергается свободному уширению, и рванина может только растянуться, а не закататься. Рванина же, попавшая в шейку или в головку рельса,



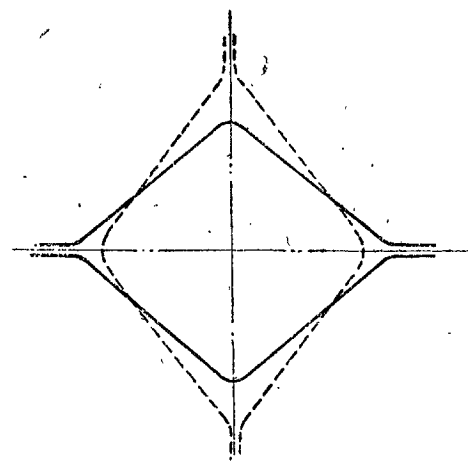
НЕ ПРАВИЛЬНО

Фиг. 36.

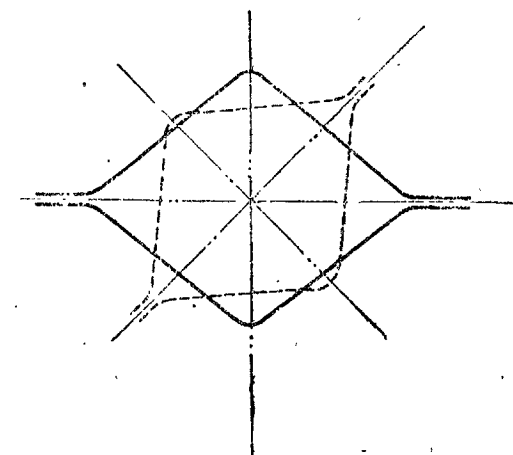


ПРАВИЛЬНО

Фиг. 37.



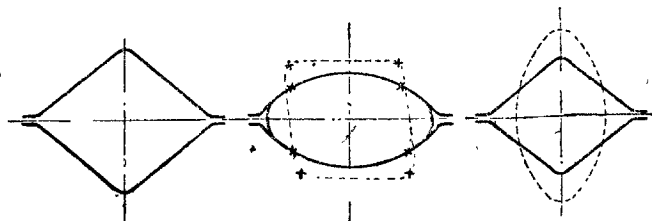
Фиг. 38.



Фиг. 39.

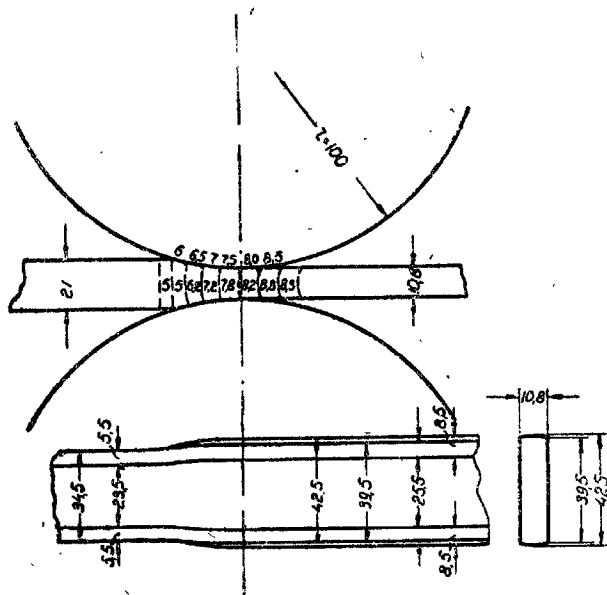
закатывается (фиг. 37). Процесс закатывания происходит так, что металл выжимается из глубины трещины, трещина растягивается, а получившаяся неровность заглаживается прокатным валом, оставляя в худшем случае только пленочку, обыкновенно же неровность исчезает совершенно.

В прокатном деле считаются поэтому опасными трещины на кромках болванки, подвергающихся свободному уширению. Трещины в середине, не на кромке, не считаются опасными, ибо закатываются чисто в черновых ромбических ручьях. Прокатка в ромбических ручьях идет с поворотом каждый раз на  $90^\circ$ , причем каждая кромка



Фиг. 40.

то катается в замкнутой части калибра, то подвергается свободному уширению (фиг. 38). При таком чередовании нет уверенности в том, что болванка с трещинами на кромках хорошо прокатается. Все трещины на гранях ромбов закатываются прекрасно, что же касается углов ромба, то возможны сомнения. Чтобы обеспечить полную



Фиг. 41.

закатку всех трещин, было бы желательно углы ромба обратить в грани, а грани обратить в углы, как показано на фиг. 39, так как, при металле средних качеств очень трудно бывает обеспечить наивысший процент сходного железа. Как мы увидим ниже, это достигается введением в ряд ромбов овального ручья. Отметив крестиками на фиг. 40 углы первоначального ромба, мы увидим, что

в ромбе, полученном из эллипса, углы заместили грани, а грани заместили углы.

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

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

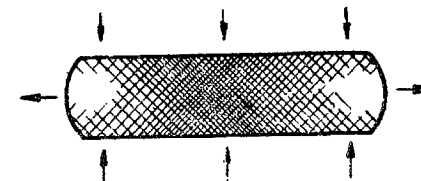
в) от трения между частицами железа и материалом валов,

с) скорости истечения.

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

**Механизм явления уширения.** Была взята полоса свинца  $34,5 \times 21$  мм; в расстоянии 5,5 мм от края были проведены две линии вдоль полосы (фиг. 41). Полоса задана в валы, диаметр которых  $d = 200$  мм, и прокатана в полосу в 10,8 мм (вертикальное давление 11,2 мм), при этом:

а) кромки полосы в 5,5 мм ширины уширились до 8,5 мм (на  $55\%$ );  
б) середина полосы 23,5 мм ширины уширилась до 25,5 мм (на  $9\%$ ).



Фиг. 42.

Отсюда следует, что уширение происходит главным образом на кромках полосы <sup>1)</sup>.

Как объяснить это явление с точки зрения истечения? Мы уже видели при раздавливании свинцовых кружков разных диаметров, что чем больше диаметр кружков, тем большее давление на  $1 \text{ мм}^2$  нужно для осадки такого кружка. Это объясняется пространством, на которое должен быть перемещен металл при раздавливании кружков большего диаметра, а следовательно, необходимостью сообщить текущему металлу скорость для такого перемещения, если только раздавливание производится быстро.

На развитие такой скорости перемещения нужно употребить избыточное давление. Изобразив тенями распределение давления по сечению сдавливаемого прессом образца, мы получим примерно такую фигуру (фиг. 42). Давление в центре полосы будет больше, а по краям меньше, следовательно, такое распределение давления в образце есть необходимое условие равномерного уширения.

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

Под влиянием давления в валах истечение возможно не только в стороны (что дает уширение), но и назад (что дает вытягивание) и вперед (ускорение), а потому, повышая давление в середине

<sup>1)</sup> При осадке низкого цилиндра гладкими бойками молота или прессы это явление может видоизмениться. Может оно измениться и от температурных условий, если коэффициент трения сжимаемого металла о поверхности бойков изменяется с изменением температуры. Н. С.

полосы, мы увеличим истечение металла из середины полосы и вперед и назад (ускорение и вытягивание) (фиг. 43). Увеличение это произойдет, конечно, за счет уширения.

ТАБЛИЦА 12.  
Ускорение по опытам Дени.

Диаметр вала мм	Окружность вала в мм	Толщина полосы		Обжатие $\delta$	Расстояние между отмет- ками на холоду мм	Усадка мм	Расстояние между горя- чими отметками мм	Опережение мм	Увеличение скорости	Температура прокатки	Усадка на 1 м		
		До	После										
												прокатки	
												мм	мм
Верхн. 240	753	30	21,2	0,42	719	13,0	732,0	18,0	1,0250	Горяч.	18		
Нижн. 215		30	12,4	1,42	715	12,9	727,9	13,9	1,0190	"			
	675	30	21,3	0,41	760	9,1	769,1	55,1	1,0770	Холодн.	12		
714	30	12,8	1,34	748	9,0	757,0	43,0	1,0600	"				
Верхн. 388	1219	30	21,3	0,41	1201,5	21,6	1223,1	29,1	1,0244	Горяч.	18		
Нижн. 372		30	12,1	1,48	1191,5	21,5	1213,0	19,0	1,0159	"			
	1169	30	21,9	0,37	1245	14,8	1259,8	65,8	1,0550	Холодн.	12		
1194	30	12,5	0,40	1227	14,7	1241,7	47,7	1,0400	"				
Верхн. 394	1238	15	10,6	0,42	1208	21,6	1229,6	15,6	1,0127	Горяч.	18		
Нижн. 379		15	6,16	1,43	1204	21,6	1225,6	11,6	1,0096	"			
	1190	15	10,7	0,40	1241	14,9	1255,9	41,9	1,0345	Холодн.	12		
1214	15	6,3	1,38	1230	14,7	1244,7	30,7	1,0254	"				

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

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

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

Уширение в миллиметрах для полос разной ширины одинаково.

Дени опытно подтвердил следующий закон, вытекающий из предыдущего: уширение зависит от вертикальной осадки на валах, а не от поперечных размеров полосы; при определенной осадке в миллиметрах уширение будет одинаково для полос разной ширины.

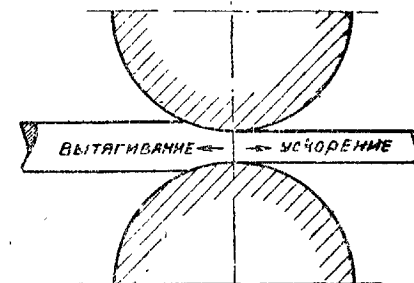
Испытывалось бессемеровское железо: квадратное  $20 \times 20$  мм, круглое  $d = 20$  мм и плоское  $41,5 \times 19,5$  мм. Каждый образец пропускался трижды через ступенчатые валки, при этом были получены результаты, указанные в нижеследующей таблице:

ТАБЛИЦА 13.

Размеры полосы, задаваемой в прокатные валы	Размеры поло- сы по выходе из валов в мм		Коэффициент обжатия	Уширение после про- пуска в мм	Вертикальное обжатие в мм	Сумма ушире- ния сначала прокатки
	Ши- рина	Тол- щина				
Первый пропуск						
а) квадратное железо $20 \times 20$ мм	25,2	12,8	1,56	5,2	7,2	5,2
б) круглое $d = 20$ мм . . . .	24,0	12,5	1,60	4,0	7,5	4,0
с) полосовое $41,5 \times 19,5$ . . . .	45,2	13,5	1,44	3,7	6,0	3,7
Второй пропуск						
а) $25,2 \times 12,8$ . . . . .	34,3	6,6	1,94	9,1	6,2	14,3
б) $24,0 \times 12,5$ . . . . .	32,6	6,0	2,80	8,0	6,5	12,0
с) $45,2 \times 13,5$ . . . . .	54,2	7,0	1,93	9,0	6,5	12,7
Третий пропуск						
а) $34,3 \times 6,6$ . . . . .	41,7	2,8	2,36	7,4	3,8	21,7
б) $32,6 \times 6,0$ . . . . .	40,0	2,6	2,32	8,0	3,4	20,0
с) $54,2 \times 7,0$ . . . . .	60,7	3,3	2,23	6,5	3,7	19,2

Независимо от формы и ширины все три образца дали при осадке примерно с 20 мм до 2,9 мм (осадка в 7 раз в три пропуски) уширение, равное приблизительно 20 мм.

Этот опыт подтверждает вышеуказанное положение, что в прокатываемых полосах уширяются только кромки, то же мы имеем



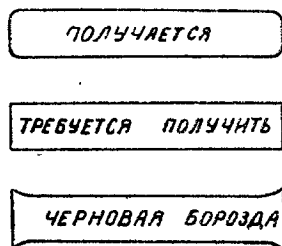
Фиг. 43.

из фиг. 41. Раз это так, и середина полосы не уширится, то полосы всякой ширины при одной и той же осадке дадут одно и то же уширение. Следовательно, уширение не зависит от ширины полосы.

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

Например, катали квадратную болванку  $42 \times 42$  мм, в четырех плоских калибрах до толщины 10 мм и получили полосу 50 мм ширины; уширение равно 8 мм. Если бы мы катали лист в 1 м ширины с 42 мм до 10 мм, то, по предыдущему, получили бы ширину листа, примерно, 1008 мм. Уширение на 8 мм при ширине 42 мм очень значительно, уширение на те же 8 мм при ширине в 1000 мм ничтожно.

Вот почему при прокатке сортового железа уширение ставится на первом плане, об уширении же при прокатке листового железа\*



Фиг. 44.



Фиг. 45.

никто не думает, как будто бы его совсем нет, ибо оно теряется в неровностях кромки листа.

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

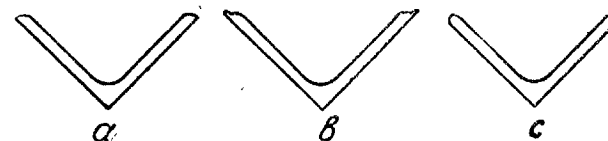
Обыкновенно в углах бывает недостаточно железа. Это легко объясняется тем, что середина полосы только тянется: кромки же и тянутся и уширяются, естественно, что они тянутся валами меньше середины, которая поэтому утягивает углы. Беда поправляется калибровщиками тем, что черновым бороздам придается вид, изображенный на фиг. 44.

При прокатке коробчатого железа по той же причине происходит втягивание уголков — округление углов коробки (фиг. 45). Недостатки эти исправляются прибавкой железа в черновых бороздах в утягиваемых частях профиля.

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

Если катать угловое железо, то получение идеально правильного профиля (фиг. 46 а) представляет непреодолимые трудности: чуть-чуть застуженная полоса дает железо с заусенками (фиг. 46 б),

прокатанная слишком горячо дает невыполненные кромки (фиг. 46 с). Если слиток, или заготовка, из которой катается уголок, был нагрет не совсем ровно, и один конец его выдан из печи холоднее другого или просто застужен, то холодный конец уголка выйдет с заусенком, а горячий не выполнится. Непостоянство формы углового железа так велико, что многие заводы решили катать все угловое железо



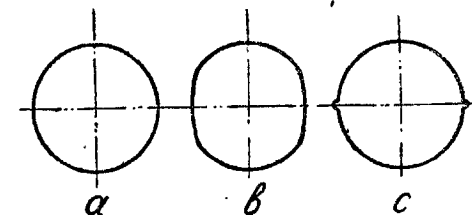
Фиг. 46.

с заусенками, а затем обрабатывать его на специальных машинах круглыми ножницами, хотя это имеет свои серьезные неудобства<sup>1)</sup>.

То, что написано об угловом железе, можно сказать и о круглом, которое выкатывается — холодное с прикатом (фиг. 47 с), горячее с недостатками (фиг. 47 б).

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

произвел такой опыт: полоска  $40 \times 6$  мм пропускалась один раз через гладкие валы в 300 мм диаметром и дала: 1) при белом калении полосу:  $43,9 \times 2,6$  мм, т. е. уширилась на 3,9 мм при осадке в 3,4 мм, или в  $3,9:3,4 = 1,14$  раза; 2) при вишневом калении:  $46,7 \times 3,5$  мм, т. е. уширилась на 6,7 мм при осадке в 2,5 мм, или в  $6,7:2,5 = 2,68$  раза.



Фиг. 47.

Как объяснить увеличение уширения с точки зрения истечения?

Мы видели, что перед валами в прокатываемой полосе образуется очаг повышенного давления (фиг. 48). Под влиянием его металл течет назад, вперед и в бока. Свободному истечению назад, т. е. вытягиванию, препятствуют две причины: 1) вязкость металла, одни частицы, увлекаемые трением валов, направляются вперед, а другие, выжимаемые силой  $R$ , — назад (фиг. 49); 2) трение между частицами металла и материалом валов во время скольжения выжимаемой назад полосы, т. е. ее попятного движения.

Для истечения металла вперед (опережения) существует только одно препятствие в вязкости металла, ибо для осуществления опережения необходимо, чтобы внутренние частицы полосы двигались

<sup>1)</sup> Так катаются угольники, главным образом, для котельных работ, где требуется чеканка кромок. Закругленную кромку чеканить нельзя. Н. С.

скорее наружных, влияние трения между валами и полосой здесь, вероятно, очень незначительно.

Наконец, для уширения в кромках препятствие составляет только трение между металлом и материалом валов; вязкость металла очень значительной роли при этом не играет. Дени думает, что повышенное уширение при понижении температуры происходит вследствие уменьшения с понижением температуры коэффициента трения между чугуном и прокатываемым железом — в пользу такого уменьшения коэффициента трения основательных доводов им не приводится. Повидимому, можно считать, что при пониженной тем-

ТАБЛИЦА 14.

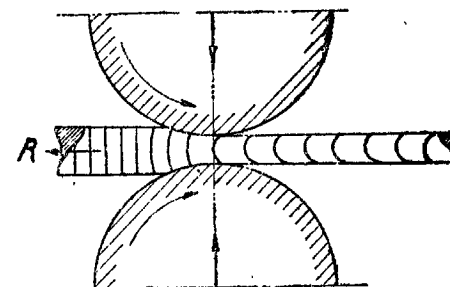
Опыт прокатки бруска сталеватого железа 9,7×9,7 мм.

Температура в °C	Первоначальный размер $\epsilon$	Окончательный размер		Расстояние между валами	Подъем валков	Вертикальное давление $\epsilon - \epsilon$	Уширение $\epsilon - b$	Коэфф. уширения $b : \epsilon$	$\sigma = \frac{\epsilon - \epsilon}{\epsilon}$	$\frac{\epsilon}{\epsilon}$
		Шир. $b$	Толщ. $\epsilon$							
1090	9,7×9,7	18	3,75	3,2	0,55	5,95	8,3	1,86	1,58	2,58
	9,7×9,7	19,6	3,18	2,4	0,78	6,52	9,9	2,02	2,05	3,05
	9,7×9,7	22	2,9	1,9	1,00	6,8	12,3	2,27	2,35	3,35
1230	9,7×9,7	17	3,55	3,2	0,35	6,15	7,3	1,75	1,73	2,73
	9,7×9,7	18,5	2,90	2,4	0,50	6,8	8,8	1,91	2,34	3,34
	9,7×9,7	20,2	2,5	1,9	0,60	7,2	10,5	2,08	2,88	3,88
1400	9,7×9,7	13,85	3,37	3,2	0,17	6,33	4,15	1,43	1,88	2,88
	9,7×9,7	15,4	2,65	2,4	0,25	7,05	5,7	1,59	2,65	3,65
	9,7×9,7	16,6	2,22	1,9	0,32	7,48	6,9	1,71	3,35	4,35

Зависимость уширения от температуры при прокатке полосы 40×6,0 мм.

Диаметр валков	Нагрев	Полоса после прокатки	Уширение в мм	$\lambda$
300	Белое каление . . . . .	43,9×2,6	3,9	1,31
300	Вишневое каление . . . . .	46,7×3,5	6,7	0,70
400	Белое каление . . . . .	44,8×2,5	4,0	1,40
400	Вишневое каление . . . . .	46,0×3,3	6,0	0,72

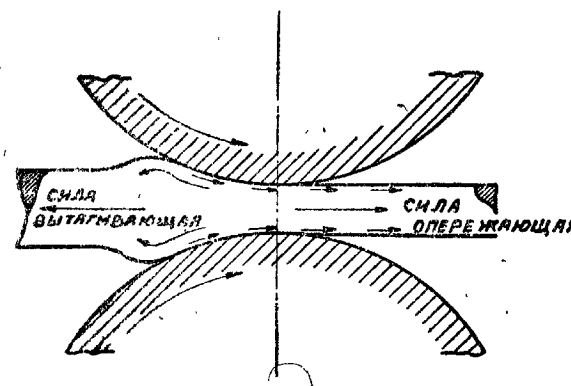
пературе увеличивается опережение (ускорение) металла и уширение за счет вытягивания потому, что сопротивление вытягиванию с понижением температуры возрастает в такой степени, что металл, следуя по пути наименьшего сопротивления, направляется в сторону уширения и опережения. В самом деле, в вытягиваемой части полосы должны быть возбуждены две скорости: а) поверхностная — вперед, в) глубинная — назад. Возбудить их в горячем металле не трудно, для возбуждения же их в холодном металле надо развить значительные давления в очаге прокатываемой полосы. Это избыточное давление разряжается усиленным уширением и опережением, несмотря на плохую текучесть остывшего металла.



Фиг. 48.

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

Зависимость уширения от трения между материалом валов и прокатываемым металлом. Опыты Кодрона со свинцом показывают, что чем тоньше кружок свинца, раздавливаемый на прессе, тем сопротивление его раздавливанию больше (см. выше).



Фиг. 49.

Отсюда, по аналогии, следует, что для прокатки тонких сортов железа нужно возбуждать в очаге давление большее, чем при прокатке толстых сортов, а потому тонкие сорта должны уширяться сильнее толстых. Из опыта Дени следует, что когда при первом пропуске железа квадратного, круглого и полосы в 20 мм толщины давалось вертикальное давление около 7 мм, то уширение получа-

лось около 4 мм. При втором пропуске толщина полос была около 13 мм, вертикальное давление давалось около 6,5 мм, но уширение уже оказалось около 9 мм. При третьем пропуске давление было дано около 3,5 мм, уширение оказалось около 7,5 мм.

Таким образом тонкие полосы уширяются гораздо сильнее, чем толстые, что свидетельствует о повышенном давлении в очаге перед валами в случае прокатки тонких полос, как мы и предполагали.

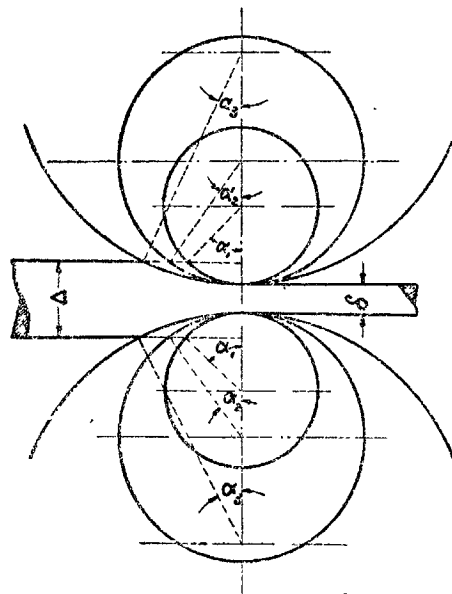
Зависимость уширения от диаметра валов, или, что то же, от величины угла захвата. Если мы одну и ту же полосу будем катать в валах разного диаметра, то угол захвата будет различен, что видно из фиг. 50.

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

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

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

Откуда не трудно получить величину углов захвата при прокатке одной той же полосы при валах различного диаметра.



Фиг. 50.

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

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

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

Назовем через  $q_t$  — давление в  $\text{кг/мм}^2$ , доводящее металл до текучести.

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

$$P_1 = q_t \cdot r_1 \cdot \sin \alpha_1; P_2 = q_t \cdot r_2 \cdot \sin \alpha_2; P_3 = q_t \cdot r_3 \cdot \sin \alpha_3.$$

Откуда не трудно получить в килограммах силу  $P$  и силу  $R$  для всех трех случаев прокатки.

Оставляя пока этот вопрос открытым, определим соотношение сил:

$$\frac{P_1}{R_1}, \frac{P_2}{R_2} \text{ и } \frac{P_3}{R_3}.$$

Оно, очевидно, будет иметь вид:

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

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

Допустим, что при прокатке в валах  $r_1 = 100 \text{ мм}$  допущен был угол захвата в  $20^\circ$ , тогда осадка полосы в валах определится:

$$r_1 (1 - \cos \alpha_1) = 100 (1 - \cos 20^\circ) = 6,03 \text{ мм}.$$

Сохраняя ту же осадку для валов с радиусом в  $200 \text{ мм}$  и  $300 \text{ мм}$ , мы получим  $\alpha_2 = 14^\circ$  и  $\alpha_3 = 11^\circ 30'$ . Делая вычисления далее, мы найдем, что при

$$\alpha = 20^\circ, r_1 = 100 \text{ мм}; \frac{P_1}{R_1} = \frac{1}{2 \operatorname{tg} 10^\circ} = \frac{1}{2 \cdot 0,16} = \sim 3.$$

$$\alpha = 14^\circ, r_2 = 200 \text{ мм}; \frac{P_2}{R_2} = \frac{1}{2 \operatorname{tg} 7^\circ} = \frac{1}{2 \cdot 0,123} = \sim 4.$$

$$\alpha = 11^\circ 30', r_3 = 300 \text{ мм}; \frac{P_3}{R_3} = \frac{1}{2 \operatorname{tg} 5^\circ 45'} = \frac{1}{2 \cdot 0,101} = \sim 5.$$

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

Дени сделал такой опыт:

Испытывалась полоса свинца  $19,9 \times 8,3 \text{ мм}$ .

I. Диаметр валов  $210 \text{ мм}$ .

1-й опыт. Получалась полоса  $22,1 \times 5,2 \text{ мм}$ , уширение —  $2,8 \text{ мм}$ , вертикальное обжатие —  $3,1 \text{ мм}$ ,  $\alpha = 10^\circ$ ,  $\delta = 0,6$ .

2-й опыт. Получалась полоса  $25,6 \times 3,8 \text{ мм}$ ; уширение —  $6,3 \text{ мм}$ , вертикальное обжатие —  $4,5 \text{ мм}$ ,  $\alpha = 12^\circ$ ,  $\delta = 1,19$ .

II. Диаметр валов  $410 \text{ мм}$ .

1-й опыт. Полоса получалась  $23,1 \times 5,3 \text{ мм}$ , уширение —  $3,8 \text{ мм}$ , вертикальное обжатие —  $3 \text{ мм}$ ,  $\alpha = 7^\circ$ ,  $\delta = 0,57$ .

2-й опыт. Полоса  $30,2 \times 3,85 \text{ мм}$ , уширение —  $10,9 \text{ мм}$ , вертикальное обжатие —  $4,45 \text{ мм}$ ,  $\alpha = 8^\circ 30'$ ,  $\delta = 1,16$ .

III. Диаметр валов  $600 \text{ мм}$ .

1-й опыт. Полоса  $23,6 \times 5,22 \text{ мм}$ , уширение —  $4,3 \text{ мм}$ , вертикальное обжатие —  $3,08 \text{ мм}$ ,  $\alpha = 5^\circ 30'$ ,  $\delta = 0,59$ .

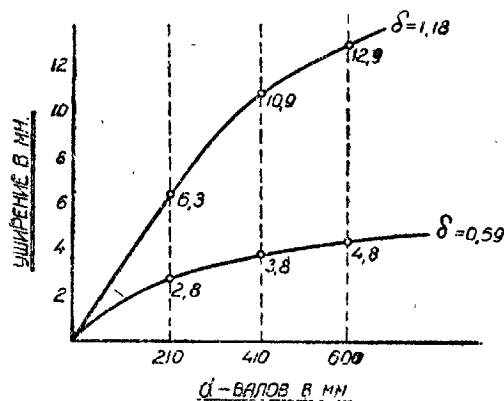
2-й опыт. Полоса  $32,2 \times 3,8 \text{ мм}$ , уширение —  $12,9 \text{ мм}$ , вертикальное обжатие —  $4,5 \text{ мм}$ ,  $\alpha = 7^\circ$ ,  $\delta = 1,19$ .

Очевидно, что чем больше диаметр валов, тем шире выходит полоса (фиг. 51).

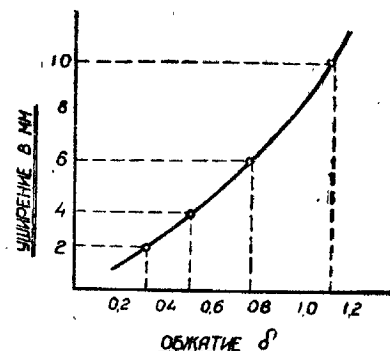


Итак, уширение увеличивается с уменьшением угла захвата и увеличением диаметра валов<sup>1)</sup>.

Зависимость уширения от коэффициента обжатия. Увеличение уширения с увеличением быстроты работы. При энергичной работе, большом коэффициенте обжатия, мы должны увеличить скорость истечения металла из валов. Этого можно достигнуть



Фиг. 51.



Фиг. 52.

только одним средством: повышением давления в очаге перед валами. Однако, такое повышение давления в очаге скажется сейчас же на увеличении уширения. И, действительно, энергичная работа сказывается на уширении.

Дени сделал такой опыт:

Через валы  $d = 520$  мм он пропустил четыре полосы железа, размером  $14,6 \times 7,75$  мм, устанавливая верхний вал каждый раз иначе. Полоски раздавливались каждый раз в один пропуск.

ТАБЛИЦА 15.

Полоса №	Размеры полосы после пропуска в мм	Обжатие в мм	Обжатие $\delta$	Уширение в мм
1	16,5×5,9 . . . . .	1,85	0,31	1,9
2	17,8×5,2 . . . . .	2,55	0,49	3,2
3	20,1×4,4 . . . . .	3,35	0,76	5,5
4	24,25×3,65 . . . . .	4,10	1,12	9,65

<sup>1)</sup> От практиков-калибровщиков можно услышать такое выражение, что тонкие валы малого диаметра тянут железо лучше, чем толстые валы большого диаметра, которые не тянут, а давят железо. Из предыдущего видно, что мнение это имеет под собой реальную почву. Н. С.

Оказывается, что уширение идет гораздо быстрее, чем вертикальное давление и его даже опережает (фиг. 52).

Вспомним опыты Кодрона над осадкой молотом в 11 к и прессом свинцового цилиндрика. Чем медленнее работа осадки, тем меньшее давление и меньшая работа в к.м идет на эту осадку. Опять полная аналогия между прокаткой и сжатием цилиндров.

Уширение дает нам возможность иметь суждение о давлении, которому подвергается металл в валах. Если уширение велико, — давление было большое; малое уширение — малое давление.

Общее заключение из рассмотрения законов уширения.

Во время прокатки действуют две силы:

- а) сила выжимающая,
- в) сила растягивающая.

Сила растягивающая направляется во все три стороны:

- 1) направляясь назад, она способствует вытягиванию полосы;
- 2) направляясь вперед, она дает опережение;
- 3) направляясь в стороны — она дает уширение.

В целях калибровки чрезвычайно важно выяснить законы, которым подчиняется уширение. Это видно из нижеследующего примера: мы катаем полосовое железо из квадрата, уменьшая высоту квадрата (фиг. 23), получаем полосу несколько шире, чем заданный квадрат, следовательно, возникает вопрос: каких размеров квадрат должен быть взят, чтобы, раздавивши его в валах, получить полосу данной ширины. Чтобы знать это, мы должны знать уширение при прокатке.

I. Из примера Дени ясно, что уширяются кромки полосы и уширение не зависит от ширины полосы, а зависит только от вертикального давления.

II. Чем выше температура полосы, тем уширение меньше, ибо: а) сила  $R$  имеет большое относительное значение, в) трение между валами и горячим металлом с повышением температуры увеличивается.

III. Увеличение диаметра валов увеличивает уширение.

IV. Уширение увеличивается при больших давлениях, ибо быстрая работа увеличивает давление.

V. Тонкие полосы уширяются больше, чем толстые, ибо в тонких полосах уширение возбуждается при более сильных давлениях благодаря трению.

Итак, уширение увеличивается каждый раз, когда по условиям прокатки давление в очаге перед валами почему-либо должно быть повышено. Таким образом, повышенное уширение свидетельствует о повышенном давлении на частицы металла, и по величине уширения в данном калибре можно безошибочно судить о давлении, производимом валами на металл.

К этому обстоятельству мы будем иметь возможность возвратиться при рассмотрении случаев неравномерной обработки металла в несимметричных валах. Теперь же обратим внимание на сложность явления уширения и зависимость его от многих условий прокатки.

Между тем, многие авторы трактуют об уширении, не отдавая ему должного внимания; например, Делен для уширения дает две цифры: для сортов крупных  $1/12''$ , для мелких —  $1/32''$ , то же самое делают Гезе и Кирхберг (Geze и Kirchberg). Все эти рецепты безусловно никуда не годны, и ими нельзя руководствоваться. Пока нет теории истечения пластичных тел, до тех пор мы просто должны накапливать факты и путем такого накопления создавать себе „опытность“ и ею руководствоваться.

Из этого не следует, конечно, что нельзя ничему научиться вне прокатной фабрики. Теоретическое знакомство с явлениями прокатки должно облегчить начинающему знакомство с прокатным делом — сущностью явления, сделать его способным разбираться в них.

Одного молодого калибровщика неприятно поразило „коварство“ его знакомого, давшего ему чертеж калибровки листовой болванки. Валы, выточенные по этому чертежу, не пошли, уширение оказалось слишком малым. Автору калибровки было весьма трудно оправдаться перед человеком, не понимающим зависимости уширения от разнообразных условий прокатки.

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

Для энергичного обжатия полосы в валах нередко встречается препятствие, совершенно неожиданное для новичков прокатного дела:

Валы не берут полосы, или взятая ими полоса останавливается в валах.

По опытам Дени стан с валами в 400 мм брал хорошо полосу при обжатии в 28 мм; при обжатии полосы в 34 мм она уже бралась плохо. Если мы вычертим валы и полосу (фиг. 53), то увидим, что:

$$r(1 - \cos \alpha) = \frac{\Delta - \delta}{2} = 14 \text{ мм},$$

откуда

$$\alpha = 21^\circ 30',$$

при

$$r(1 - \cos \alpha) = 17 \text{ мм},$$

$$\alpha = 23^\circ 45'.$$

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

При обжиме слитков в Н.-Салдинском заводе предельным углом захвата оказался угол в  $22^\circ$ . Предельный угол захвата завода Пине —  $26^\circ 30'$ , Сталинского (быв. Юзовского завода)  $21^\circ - 23^\circ 30'$ .

Впрочем, в разрезаемых ручьях (см. ниже) для балок можно работать при углах захвата даже в  $36^\circ 30'$  (II). Заготовка  $185 \times 180 \text{ мм}$  разрезывается в балку с шейкой в 35 мм

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

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

откуда

$$\alpha = 36^\circ 30'.$$

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

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

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

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

Сила трения равна (фиг. 54)

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

откуда

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

Полоса останавливается при

$$\alpha = 22 - 24^\circ; f = \operatorname{tg} \frac{23}{2} = \operatorname{tg} 11^\circ 30' = 0,2.$$

Отсюда ясно, что коэффициент трения раскаленного железа по чугуноу = 0,2, величина, выведенная многими авторами совершенно другими путями и обыкновенно принимаемая на практике.

Момент захвата полосы валами (фиг. 55).

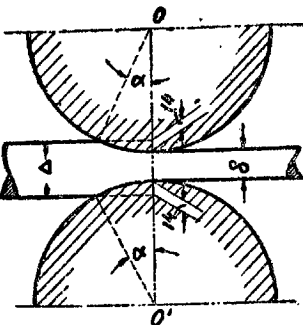
$$u > S; u = fq; S = q \cdot \operatorname{tg} \alpha$$

$$fq > q \cdot \operatorname{tg} \alpha,$$

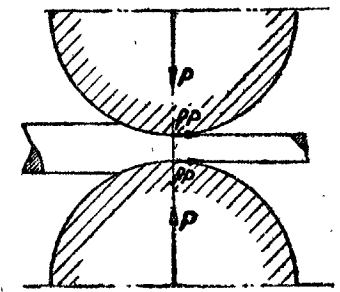
т. е. коэффициент трения должен быть больше  $\operatorname{tg} \alpha$ .

Выведем формулу для обжатия  $\Delta$ :

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



Фиг. 53.



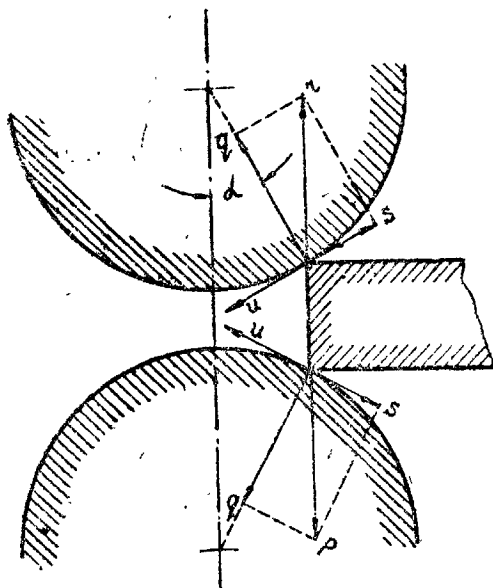
Фиг. 54.

Тогда

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

Но

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



Фиг. 55.

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

откуда

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

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

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

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

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

Применение формулы:

$$f = 0,4; \quad \Delta = d \left( 1 - \sqrt{\frac{1}{1+0,4^2}} \right) = 0,072 d = \sim 1/15 d.$$

$$f = 0,3; \quad \Delta = d \left( 1 - \sqrt{\frac{1}{1+0,3^2}} \right) = 0,043 d = \sim 1/25 d.$$

Та же формула при одном свободном валке будет иметь вид:

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

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

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

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

При

$$f = 0,4; \quad \Delta = d \left( 1 - 2 \sqrt{\frac{1}{0,4^2 + 4}} \right) = 0,018 d.$$

$$f = 0,3; \quad \Delta = d \left( 1 - 2 \sqrt{\frac{1}{0,3^2 + 4}} \right) = 0,010 d.$$

Опыты: Валки диаметром 400 мм; хорошо бралась полоса при давлении в 28 мм; при давлении в 34 мм прилагалось усилие:

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

$$\cos \alpha = 1 - \frac{\Delta}{2r} = 1 - \frac{28}{400} = 0,93; \quad \alpha = 21^\circ 30'; \quad \operatorname{tg} \alpha = f = 0,394 = \sim 0,4$$

$$\Delta = 34 \text{ мм}$$

$$\cos \alpha = 1 - \frac{34}{400} = 0,915; \quad \alpha = 23^\circ 45'; \quad \operatorname{tg} \alpha = f = \sim 0,44.$$

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

$$\cos \alpha = 1 - \frac{3}{300} = 0,99; \quad \alpha = 8^\circ; \quad 2 \operatorname{tg} \alpha = f = 0,28.$$

В действительности высокого коэффициента трения на практике достигают „насечкой“ валов для увеличения трения.

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

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

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

В этом выражении абсолютное значение Δ и δ не играет роли. Величина α зависит от полуразности их  $\frac{\Delta - \delta}{2}$  (фиг. 56), поэтому

на листовом стане, например, можно успешно катать очень толстые броневого слитки. Стан одинаково хорошо „берет“ в положениях верхнего вала А и В, если только величина обжатия  $\frac{\Delta - \delta}{2}$  в обоих

случаях одинакова (фиг. 57). Определим максимальное обжатие, допускаемое углом захвата.

Из выражения

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

следует, что

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

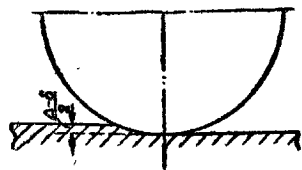
При предельном угле в  $25^\circ$  получим:

$$\frac{\Delta - \delta}{2r} = 1 - 0,9 = 0,1 \text{ и } \frac{\Delta - \delta}{r} = 0,2; \quad \frac{\Delta - \delta}{D} = \frac{1}{10}.$$

При хорошем захвате валков предельность  $\alpha = 20^\circ$ .

$$\frac{\Delta - \delta}{r} = 0,12; \quad \frac{\Delta - \delta}{D} = \frac{1}{17},$$

т. е. полная величина обжатия не может превосходить  $\frac{1}{5} r$  или  $\frac{1}{10}$  диаметра вала. Хороший захват валов гарантируется при обжатии, равном  $\frac{1}{17}$  диаметра валов.



Фиг. 56.

Обжим слитков стараются вести при максимальных давлениях, чтобы по возможности скорее перейти от слитка к заготовке требуемого размера, но при прокатке слитков обычно не переходят предела обжатия в 2 дюйма, или 50 мм<sup>1)</sup>, объяснение чему не трудно найти в предыдущем.

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

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

**Расход работы на прокатку.** Не входя в рассмотрение определения величины силы двигателя, необходимого для прокатки, что составляет предмет изучения заводской механики, рассмотрим зависимость двигателя от условий прокатки.

Мы видели уже, что в процессе прокатки играют роль две силы: сила  $P$  — давление и сила  $R$  — сила, выжимающая металл из валов, равная или меньшая вращательной силе машины.

<sup>1)</sup> В настоящее время американцы дают обжатие на блюмингах до 100 мм в один пропуск. Н. С.

Эти две силы производят две работы:

- 1) работу вытягивания полосы вдоль прокатки,
- 2) работу уширения полосы.

Если первая отвечает целям прокатки, то вторая обыкновенно совершенно бесполезна.

Между тем на нее тратится сила, и много силы. Вот на эту сторону и надо обратить серьезное внимание. Например, имеем квадрат  $42 \times 42 \text{ мм}$ . Мы хотим выкатать из него полосу в 10 мм толщины. Если бы не было уширения, то мы были бы в праве ожидать, что полоса выйдет в 4,2 раза длиннее прокатываемой квадратной полосы. Оказывается, дело обстоит не так: из квадрата  $42 \times 42 \text{ мм}$  в 5 пропусков выкатывается полоса шириной не в 42 мм, а в 50 мм, и длина ее будет (1800:500) только в 3,6 раза длиннее выданной квадратной полосы.

Материал  $42 \times 32 \text{ мм}$  смещен; работа по смещению его совершена, но смещение произошло не в длину, как нам хотелось бы, а в ширину ее (фиг. 58). Полоса вышла короче, чем мы ожидали, на

$$100 \cdot \left( \frac{4,2 - 3,6}{4,2} \right) = 14,3\%.$$

Это будет потеря работы на уширение.

Так как уширение происходит только в кромках полосы, то ясно, что оно сказывается очень сильно только в мелкосортном железе, катаемом с большими коэффициентами обжатия. При прокатке котельного железа уширение не играет никакой роли, там почти вся сила машины направлена на вытяжку его вдоль прокатки. Напротив того, при прокатке мелкосортного железа могут быть случаи значительной затраты работы на уширение.

Например, Дени задал в валы квадрат:  $9,7 \times 9,7 \text{ мм}$  и в один пропуск получил  $22 \times 2,9 \text{ мм}$  (фиг. 59). Судя по вертикальному давлению, можно было ждать (если бы не было уширения) вытягивания полосы в  $9,7:2,9 = 3,34$  раза, а оказалась вытяжка в

$$\frac{9,7 \times 9,7}{2,9 \times 22} = \frac{94,1}{63,8} = 1,47 \text{ раза,}$$

т. е. работа уширения оказалась равной

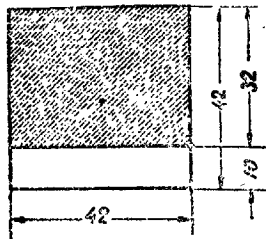
$$100 \left( \frac{3,34 - 1,47}{3,34} \right) = 56\%$$

по смещению материала, т. е. работы машин<sup>1)</sup>.

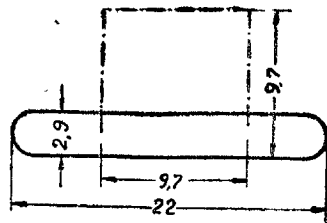
<sup>1)</sup> При вытягивании под паровым молотом или прессом слитка в полосу большая часть работы удара тоже пропадает бесцельно. Допустим блок А (фиг. 60) ударила или нажал на полосу ММ, причем часть металла была выжата вдоль, часть ее поперек пол. сы. Весь металл, передвинутый поперек полосы и уширившийся, передвинут напрасно, ибо для следующего удара полосу придется повернуть на  $90^\circ$  и осадить ее вниз, и часть металла опять-таки пойдет на уширение. Таким образом, на удлинение полосы идет не более 50% всей работы по прессованию и ковке полосы под прессом или молотом.

Полезная работа, пока полоса толста, составляет около 0,6; по мере утончения полосы полезная работа понижается до 0,5; при толщине полосы меньше 1 мм, понижается до 0,16.

Сопротивление прокатке на 1 мм<sup>2</sup> поперечного сечения, по мере утончения полосы, делается все больше и больше, поднимаясь от 4—5 и до 70 кг при толщине 0,05 мм, т. е. наблюдается то же, что при раздавливании, при котором



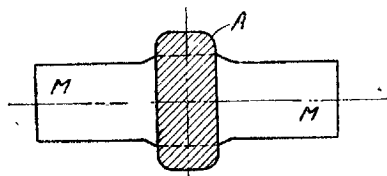
Фиг. 58.



Фиг. 59.

трение между частицами полосы свинца и поверхностями валов увеличивает работы сопротивления раздавливанию в колоссальных размерах.

Сильными давлениями выгоднее работать, чем слабыми.



Фиг. 60.

Расход силы прокатной машины на 1 кг железа тем больше, чем тоньше прокатываемое железо; особенно невыгодно катать тонкие полосы при большом диаметре и слабом давлении.

Расход силы при большом диаметре больше, чем при меньшем диаметре, что понятно, ибо имеет место в большей степени раздавливание (уширение). При увеличении диаметра со 100 мм до 167 мм расход энергии увеличился на 10%. Это можно объяснить большей поверхностью соприкосновения вала и металла при большем

диаметре валов, а следовательно, большим сопротивлением трению для перемещения частиц<sup>1)</sup>.

#### Охлаждение железа.

Пусть  $y$  — температура охлаждающего железа,

$x$  — время,

$S$  — поверхность куска,

$v$  — объем куска железа,

$a$  — коэффициент.

Кривая падения температуры во времени дана на фиг. 61. Тогда<sup>2)</sup>

$$\frac{dy}{dx} = a \cdot y \cdot \frac{S}{v}; \quad dx = \frac{dy}{y} \cdot \frac{v}{aS};$$

$$x = \int_{y_2}^{y_1} \frac{dy}{y} \cdot \frac{v}{aS} = \frac{v}{aS} (\ln y_1 - \ln y_2) = \frac{2,3 v}{aS} (\lg y_1 - \lg y_2).$$

<sup>1)</sup> Опыты последнего времени не подтверждают этого. Есть указание, что расход энергии на единицу проката от изменения диаметра валов, как будто бы, не изменяется. Н. С.

<sup>2)</sup> По Де ни. На самом деле процессы охлаждения значительно сложнее; здесь даются эмпирические формулы для подсчета, как первое приближение.

Таким образом, время остывания равно

$$x = \frac{2,3 \cdot \text{площадь сечения}}{a \cdot \text{периметр}} (\lg y_1 - \lg y_2).$$

Из поставленного опыта известно, что круглое железо  $\Phi 150$  мм (6") остыло от 1310° по 490°, т. е. на 820° в течение 1½ часов.

Тогда

$$90' = \frac{2,3 \cdot \pi \cdot (0,075)^2}{a \cdot 2 \cdot \pi \cdot 0,075} (\lg 1310 - \lg 490) = \frac{0,0863}{a} (3,117 - 2,690),$$

$$a = \frac{0,0863 \cdot 0,427}{90} = 0,00041.$$

Для листового железа:

$$\frac{\text{периметр}}{\text{сечение}} = \frac{2 \text{ ширины}}{\text{ширина} \times \text{толщина}} = \frac{2}{\text{толщина}}.$$

Для квадратного железа:

$$\frac{\text{периметр}}{\text{сечение}} = \frac{4 \text{ стороны}}{\text{сторона}^2} = \frac{4}{\text{сторона}}.$$

Для круглого железа:

$$\frac{\text{периметр}}{\text{сечение}} = \frac{\pi D}{\frac{\pi D^2}{4}} = \frac{4}{\text{диаметр}}.$$

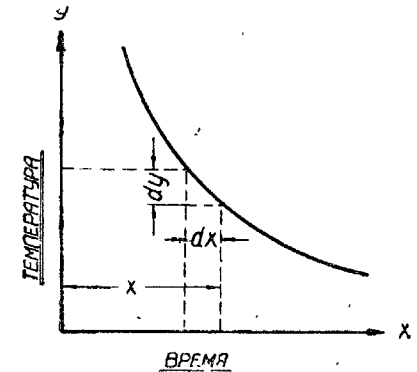
Примеры. Лист толщиной 10 мм остынет от 1450° до 900°.

Время равно

$$x = \frac{2,3 \cdot \text{толщина}}{0,00041 \cdot 2} (\lg 1450 - \lg 900) = \frac{2,3 \cdot 0,010 \cdot 0,207}{0,00041 \cdot 2} = 5,8' = 5'48''.$$

Квадратное железо 10 мм.

$$x = \frac{2,3 \cdot 0,010}{0,00041 \cdot 4} (\lg 1450 - \lg 900) = \frac{2,3 \cdot 0,010 \cdot 0,207}{0,00041 \cdot 4} = 2,9' = 2'54''.$$



Фиг. 61.

## ГЛАВА IV.

### Калибровка обжимных валов.

Калибровка валов для обжимки слитков или валов блюминга. Несмотря на простоту процесса обжимки слитков, калибровка валов для блюминга представляет большие трудности, и хорошо скалиброванные валки блюминга являются редкостью.

Существовали заводы, где обжим слитков велся просто в листовых гладких валах без борозд (Avesta в 1898 году). Такое решение кажется вполне естественным. Размеры слитка квадрат-

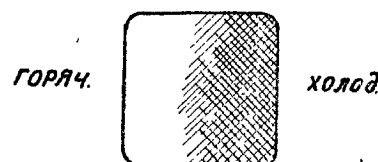
ного сечения, казалось бы, достаточно гарантируют правильность обжатия. На самом же деле при малых давлениях редкий слиток выйдет прямым, большею же частью результатом обжима бывает заготовка ромбического, а не квадратного сечения (фиг. 62).

При слишком энергичной обжимке слитки часто свертываются.

Нам известны заводы, хронически страдающие свертыванием слитков при обжимке в блюмингах и не находящие способа избавиться от этого недостатка. Свернутый слиток большею частью



Фиг. 62.



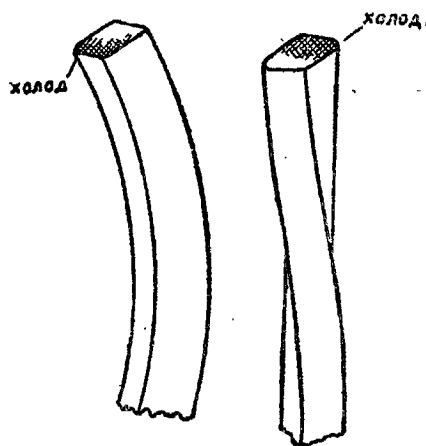
Фиг. 63.

приходится переплавлять в мартеновских печах, ибо в прокатку он негоден.

Какая же причина получения из квадратных слитков ромбических или свернутых заготовок?

Причина заключается в неправильном нагреве слитков. Представим себе, что в прокатные валы задан слиток, один бок

которого нагрет до  $1200^{\circ}$ , а другой до  $1100^{\circ}$  (фиг. 63). Это явление при подогреве слитков в методических печах не представляет редкости. Грань слитка, обращенная к поду методической печи, всегда холоднее верхней стороны слитка, обращенной к своду печи. Подвергнем такой слиток давлению в ручье; текучесть металла при  $1200^{\circ}$  и при  $1100^{\circ}$  различная (см. разрывные пробы Кольмана), и, в то время как левая половина слитка потечет весьма легко, текучесть правой будет затруднена низкой температурой металла. Поэтому вытягивание левой, горячей половины опередит вытягивание



Фиг. 64.

Фиг. 65.

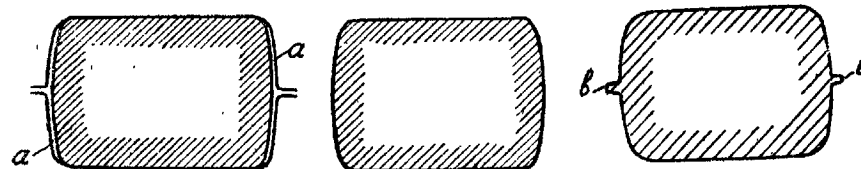
вание правой холодной половины, и слиток выйдет из валов кривым (фиг. 64). Но это еще полбеда. Если же обжатие очень энергично, то холодная часть слитка напрягается, и если калибр достаточно широк, то слиток вдруг во время прохода его в ручье поворачивается на  $90^{\circ}$ , и вместо прямого параллелепипеда мы из валов получаем спирально свернутое тело (фиг. 65).

Не нужно думать, что поворачивание слитка происходит под влиянием только упругости металла холодной части слитка; она

может играть некоторую роль, но главнейшая роль здесь принадлежит энергичному истечению мягкой, горячей части левой стороны слитка. Вытекающему металлу некуда деться, и вот он обвивается вокруг прямой, правой холодной половины слитка и поворачивает весь слиток в ручье.

Невидевшим этого свертывания слитков трудно поверить, чтобы параллелепипед в 200 мм в стороне квадрата свертывался с такой легкостью и быстротой. Лучшим средством предупредить свертывание слитков — это крепко держать обжимаемый слиток углами калибра. Слиток должен входить в калибр плотно, без зазоров (фиг. 66). Задавать его в калибр надо прямо, чтобы боковые грани его были отвесны.

Обоим этим средствам поперек дороги стоит уширение. Прямой слиток после обжимки в первом же ручье получает выпуклые



Фиг. 66.

Фиг. 67.

Фиг. 68.

грани вследствие уширения (фиг. 67). Такой слиток, поворачиваемый на  $90^{\circ}$ , качается на рольганге.

Уширение слитка — вещь крайне неопределенная, зависящая от многих причин, и выточить борозду так, чтобы точно угадать уширение и не иметь зазоров *аа* или заусениц *bb* (фиг. 68), крайне трудно, почти невозможно.

Вот причина, почему многие заводы мучаются с обжимными валами.

Обыкновенно во избежание свертывания предпочитают работать:

- а) малыми давлениями,
- б) пуская машину на самый медленный ход,
- в) удерживая слиток от свертывания мускульной силой рабочих<sup>1)</sup> или специальными гидравлическими держакими.

Все эти способы, конечно, — паллиативы, стоящие очень дорого, но не достигающие цели, ибо задерживают обжим слитка.

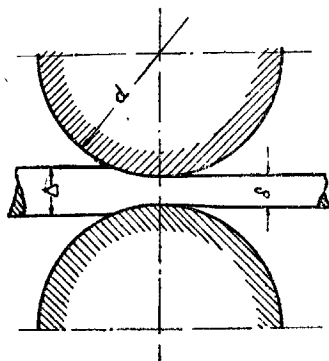
Чтобы катать все сорта с одного нагрева, а такова в настоящее время цель всех прокатных установок, нужен обжим слитков вести по возможности быстрее; для этого необходимо соблюдение ниже следующих условий:

- а) захват валов должен быть легкий (нечрезмерный угол захвата),
- б) слиток должен прочно и прямо стоять на роликах,

<sup>1)</sup> Только для правильного направления в калибр, но не в калибре блюминга. Н. С.

- с) валы должны идти быстро <sup>1)</sup>,  
 д) заданный небрежно в валы слиток должен центрироваться в борозде само собою и крепко держаться углами ручья,  
 е) давления в ручьях должны быть по возможности больше, не переходя, однако, за пределы возможного угла захвата.

Все это достигается калибровкой обжимных валов, описанной ниже, устраняющей влияние уширения. Уширение, конечно, при проходе каждого ручья есть, но оно не играет никакой роли при прокатке.



Фиг. 69.

**Проектирование валов блюминга реверсивного дуо.** Диаметр обжимных валов обыкновенно не меньше 800—1000 мм. Верхний вал делается с подъемом от 50 до 300 мм. Этим путем избегаются глубокие врезы ручьев в тело валов, что имеет две невыгодных стороны:

- 1) ослабляет вал и делает его непригодным для энергичного обжатия слитка, и
- 2) увеличивает угол захвата, т. е. ухудшает захват железа в валы.

Мы видели, что для легкости захвата слитка угол захвата должен быть не больше 20°. При этом возможное ( $\Delta - \delta$ ), т. е. обжатие (фиг. 69), при различных диаметрах валов в ручье будет равно

$$d = 400 \text{ мм}, \Delta - \delta = 2 \cdot \frac{400}{2} (1 - \cos \alpha) = 400 \times 0,06 = 24 \text{ мм},$$

$$\begin{aligned} d = 500, \Delta - \delta &= 500 \times 0,6 = 30, \\ d = 600, \Delta - \delta &= 600 \times 0,6 = 36, \\ d = 700, \Delta - \delta &= 700 \times 0,6 = 42, \\ d = 800, \Delta - \delta &= 800 \times 0,6 = 48, \\ d = 900, \Delta - \delta &= 900 \times 0,6 = 54, \\ d = 1000, \Delta - \delta &= 1000 \times 0,6 = 60. \end{aligned}$$

При угле захвата  $\alpha = 26^\circ$ , при котором возможна еще прокатка, хотя и с трудом ( $\Delta - \delta$ ) равна 50 мм при  $d'$  в ручье, равном 500 мм.

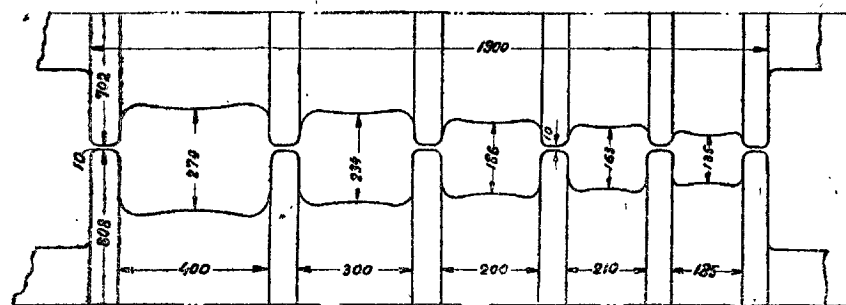
Как глубоко можно врезывать ручьи в вал?

Дален указывает, как крайний предел для пакетов сварочного железа, что диаметр вала в ручье может равняться 0,5  $D$ . Но так глубоко теперь ручьи никогда не врезываются, обыкновенно диаметр вала в ручье бывает  $\frac{2}{3}$  начального диаметра.

На фиг. 70 помещен чертеж обжимных валов блюминга завода Пин  $d = 750$  мм,  $H = 1900$  мм. Мы видим здесь, что ручьи разрезаны не посередине, так что нижний вал имеет гребни более высокие, чем верхний. Такое расположение должно считать пере-

житком старого, пудлингового периода прокатного дела, когда пакет принимали в гребни одного нижнего вала, хорошо его направлявшего и препятствовавшего ему сбиться в сторону. Теперь борозды режутся посередине, и верхний вал совершенно подобен нижнему, чтобы на случай поломки обходиться одним запасным валом.

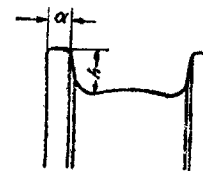
Итак, глубина борозды —  $\frac{1}{6} D$ . Ширина гребней  $a$  равна вообще их высоте. Так делается всегда в валах для прокатки рельсов,



Фиг. 70.

балок и т. п. с „боковым давлением“. Для валов блюминга, где боковые давления ничтожны, а место на валах дорого, ширину гребней уменьшают до  $\frac{1}{2}$  высоты гребня (фиг. 71).

Боковые стенки калибра раньше делались вертикальными, но теперь таких валов в работе больше не встретить. Надо принять за правило никогда не ограничивать стенки калибров вертикальными врезами (фиг. 72). Таково одно из основных правил искусства точить валы. Это станет нам очевидным, если мы вспомним, что всякий вал изнашивается, борозды растираются и должны быть поправлены и доведены до своих первоначальных размеров.



Фиг. 71.

Пусть мы имеем вал, борозды которого врезаны под углом 90° к оси вала. Борозды от долгой работы вала растерлись на 1 мм, 2 мм, 3 мм..., и их надо сделать опять прежней ширины.

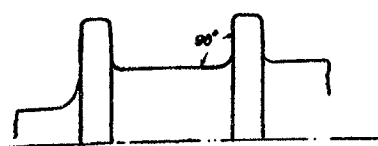
Как поправить такой вал?

Если борозды глубоки, то вал поправить нельзя. Каждая поправка вала на станке увеличит ширину борозд, что, вообще говоря, недопустимо. Чтобы иметь возможность поправлять валы, вертикальные врезы в валы вовсе не практикуются, а заменяются врезами слегка наклонными (фиг. 73). Если такой вал изработается в стане, поверхность борозд делается неровной, усеянной выбоинами, разотрется шире нормы, то все эти недостатки легко поправятся уменьшением диаметра вала. С поверхности вала сточат на поправку от 5 до 12 мм, и все борозды будут опять чисты и гладки, настоящих размеров, как у новой пары валов. Это очевидно из фиг. 74. Бла-

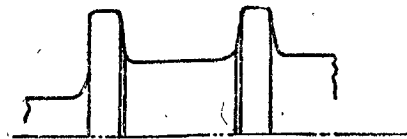
<sup>1)</sup> Первые пропуски в блюмингах, да и вообще в обжимках, выгоднее вести при тихом ходе валов. Н. С.

годаря уклону стенок, углубляя борозду в вал, мы можем снять с боков борозды стружку, не уширяя борозды.

Уклон стенок борозд вместе с тем оказывает еще две весьма важных услуги прокатному делу. Изобразим часть прокатного вала



Фиг. 72.



Фиг. 73.

сверху и в разрезе (фиг. 75 и 76). Нижняя кромка прокатываемой полосы входит по линии  $aa$ , т. е. примерно по касательной к поверхности дна калибра.

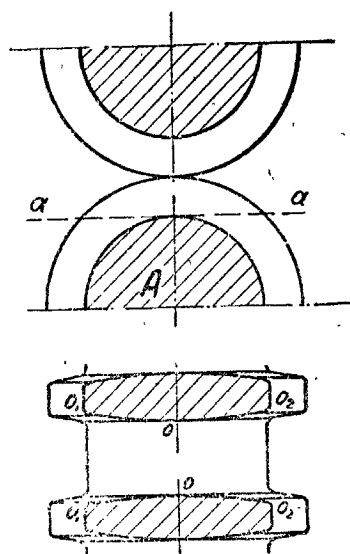
Сделаем сечение гребней плоскостью, касательной к дну калибра. Сечения гребней (фиг. 75) ограничатся ветвями гиперболы  $0,00_2$ , так как секущая плоскость параллельна оси конусов, ограничивающих калибр.



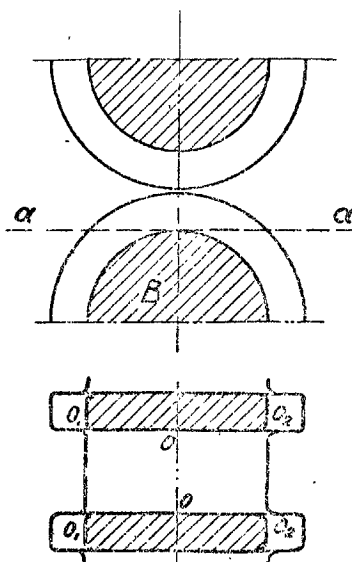
Фиг. 74.

Допустим, что калибр имеет вертикальные стенки ручья (фиг. 76). Сделаем то же самое, т. е. срежем гребни плоскостью, касательной ко дну калибра, и получим вместо ветвей гиперболы две параллельных прямых  $0,00_2$ .

Если мы поведем прокатку в этих двух парах валов, мы увидим значительную разницу. Чтобы задать полосу в



Фиг. 75.

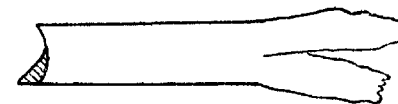


Фиг. 76.

валы  $B$  (фиг. 76), надо точно направить ее в калибр. При малейшей ошибке мы зададим полосу на гребень, ибо „прием“ полосы

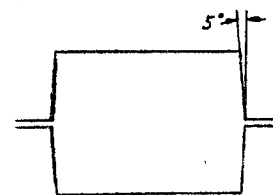
имеет точно ширину калибра. Напротив того, в валах  $A$  (фиг. 75) „прием“ калибра шире дна калибра и шире полосы, поэтому „задача“ полосы облегчается. Неправильно, небрежно заданная полоса сама собой центрируется гребнями валов и попадает точно на нужное место. Благодаря этому, маневры при задаче полосы упрощаются, и время их значительно сокращается, а в прокатном деле время — все.

Нужно заметить, что „задача“ штуки в валы затрудняется весьма часто „бахромистыми“ концами полос, как говорят у нас, или „рыбьими хвостами“, как говорят французы (фиг. 77). Дело в том, что конец полосы, выходящий из валов, раздваивается и делается шире калибра, его выпустившего<sup>1)</sup>. Вот тут-то разverzание гребней особенно ценно, ибо задать такую полосу в валы типа  $B$  представляет большие трудности.



Фиг. 77.

Проследим полосу дальше, как она ведет себя на валах. Проходя через линию центров прокатных валов, полоса прилипает к поверхности ручья и в нем заклинивается. Затем она подвигается дальше и должна выйти из валов. Тут опять мы видим значительную разницу в типе валов  $A$  и  $B$ .



Фиг. 78.

В валах типа  $A$  борозда раскрывается, делается шире, и прокатываемая штука сама собой выходит из борозды, ибо связь между ее поверхностью и гребнями сама собой нарушается.

Напротив того, неразverzающийся калибр вала типа  $B$  продолжает крепко держать штуку даже и тогда, когда она уже вышла из валов. Вот почему валы типа  $B$  часто увлекают с собой полосу, обматывают ее вокруг себя, результатом чего является „оков“ вала полосой и слом валов, а иногда и станин.

Роль уклону стенок калибров, как мера предохранительная против окова валов, настолько важна, что уклон этот калибровщики называют „выпуском“. Говорят, что такая-то борозда имеет выпуск  $2 \text{ мм}$ . Это значит, что уклон ее стенок два миллиметра.

Величина выпуска дается старыми авторами весьма небольшая  $\frac{1}{100} - \frac{1}{66} - \frac{1}{30}$  глубины калибра или  $1 - 1\frac{1}{2}^\circ$ . Новые авторы дают выпуск до  $5^\circ$  (фиг. 78).

В новейших блюмингах применяется выпуск максимальный, т. е. в  $5^\circ$ , вот причина, почему в них отсутствуют проводники и скамейки, бывшие когда-то обязательными.

В старых обжимных валах с малым выпуском случалось, что обжатая белванка ущемлялась в борозде и увлекалась валом вниз, почему устройство проводников считалось обязательным. В современных блюмингах и обжимных станах (фиг. 79) с большим выпу-

<sup>1)</sup> Причиной этому служит главным образом явление опережения. Н. С.



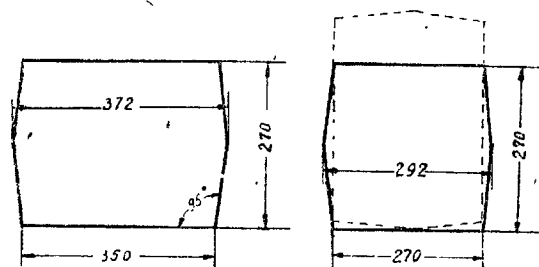
ском в  $5^\circ$  можно обходиться без проводников, принимая болванку прямо на ролик роляганга.

Разверзание калибра гарантирует болванку от защемления.

Так как дно калибра соответствует ширине задаваемой в валы полосы, то можно было бы проектировать калибры, исходя из следующих положений:

- а) дно калибра делается по ширине задаваемой в валы полосы,
- б) выпуск дает место для уширения.

Например, имеем слиток  $350 \times 350$  мм. В первом пропуске даем обжатие в 40 мм; при обратном пропуске через тот же калибр

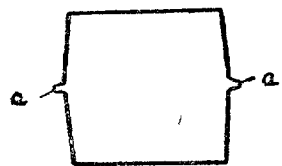


Фиг. 80.

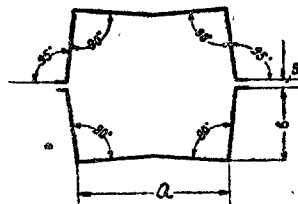
опускаем верхний вал на 40 мм; получаем болванку, изображенную на фиг. 80. Поворачиваем ее на  $90^\circ$  во второй ручей с шириной дна в 270 мм и давим ее двумя пропусками на 51 мм каждый раз, получаем квадратную болванку  $270 \times 270$  мм; компенсируя уширение расширением калибра при посредстве выпуска

до 292 мм.

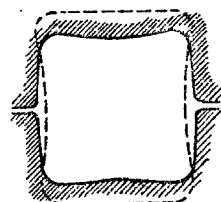
Делая ширину дна калибра равную высоте предыдущего калибра, можно достигнуть того, что углы болванки будут крепко держаться углами калибра и свертывания не будет. Однако, такая форма калибров будет иметь два крупных недостатка:



Фиг. 81.



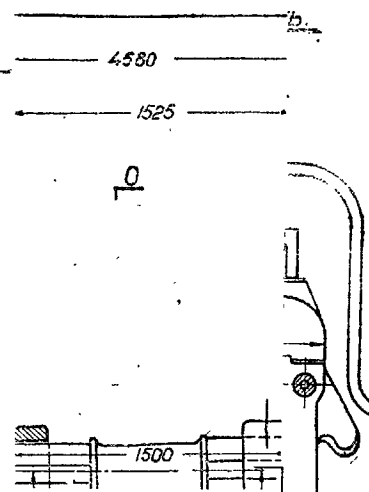
Фиг. 82.



Фиг. 83.

а) При верхнем вале, имеющем большой ход нажимных винтов, через один и тот же ручей пропускают болванку два, четыре и даже шесть раз подряд, не кантуя ее (т. е. не поворачивая на  $90^\circ$ ). При этом может случиться, что уширение выйдет из пределов расширенного выпуском калибра и на болванке получатся заусенки или заусенки *аа* (фиг. 81).

б) При такой форме калибров болванка получается с выпуклыми гранями. Поворачивая ее на  $90^\circ$ , мы ставим ее на выпуклую грань и придаем ей крайне неустойчивое положение, рискуя неправильно задавать болванку в валы.



$405 \times 405$  мм ( $16'' \times 16''$ )

Разверзание калибра гарантирует болванку от защемления.

а) дно калибра делается по ширине задаваемой в валы полосы,

а) дно калибра делается по ширине задаваемой в валы полосы,  
б) выпуск дает место для уширения.

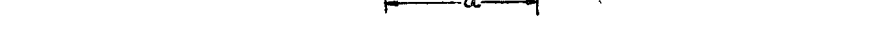
даем божатие в 40 мм, при обратном пропуске через 101 мм выносим  
опускаем верхний вал



опускаем верхний вал на 40 мм; получаем болванку, изображенную на фиг. 80. Поворачиваем ее на 90° во второй ручей с шириной дна в 270 мм и давим ее двумя пропускками на 51 мм каждый раз, получаем квадратную болванку 270 × 270 мм; ком-

Лесная ширина для калибра равная высоте предыдущего калибра.

калибров будет иметь два крупных недостатка:



Фиг. 83.

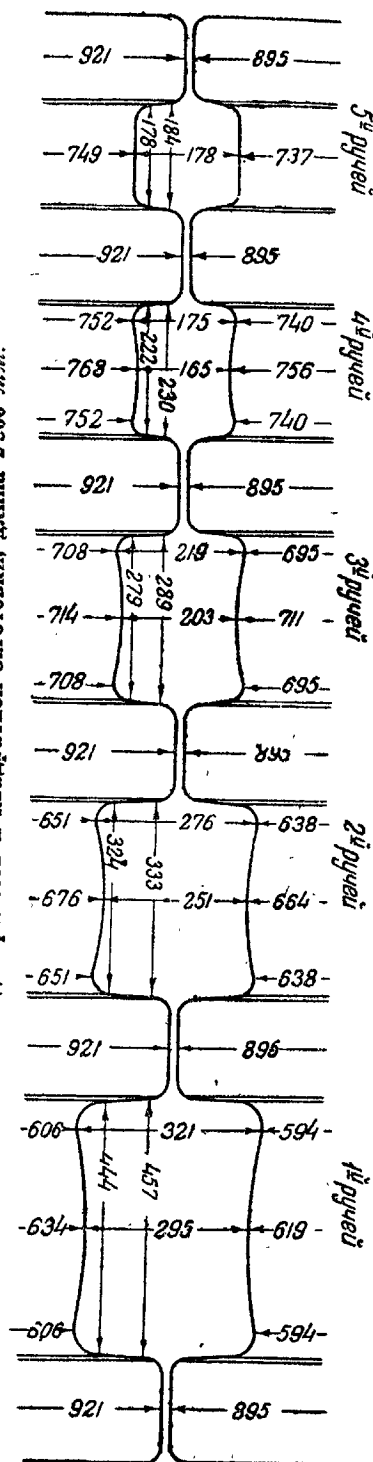
б) При такой форме калибров болванка получается с выпуклыми

задавать болванку в валы.

Затем болванка опять поворачивается на  $90^\circ$  и идет в следующую борозду, причем, имея все бока впалыми, она твердо стоит на рольганге.

Работа в этих валах может  
идти так: слиток вниз

403  $\wedge$  403 *MM* (10  $\wedge$  10)



Фиг. 84.

пропускается узким концом вперед и выходит 368 мм (14<sup>1</sup>/<sub>2</sub>" ) высоты; второй пропускается назад и выпускается 318 мм (12<sup>1</sup>/<sub>2</sub>" ) высоты; кантуется и идет узким концом во вторую борозду.

Так как кантовальный аппарат находится только с одной стороны валов, то во второй борозде приходится делать четыре пропуска, осадив слиток с 457 мм (18") до 280 мм (11"); болванка высотой 280 мм (11") кантуется и задается в третью борозду, в которой с 317 мм (12,5") обжимается до 230 мм (9"); затем поступает в четвертую борозду, обжимается до 178 мм (7") и в пятой борозде в один пропуск приобретает размеры 178 × 178 мм (7" × 7").

В нижеследующей таблице мы даем схему этих валов.

ТАБЛИЦА 16.

Обжимные валы б. Юзовского завода в Сталине.

В ы п у с к н о й    у г о л		
Ручей	Тангенс угла	Угол
Первый . . . . .	6,5 : 90 = 0,0723	4°20'
Второй . . . . .	4,5 : 90 = 0,0500	2°50'
Третий . . . . .	5,0 : 70 = 0,0714	4°05'
Четвертый . . . . .	4,0 : 52 = 0,0770	4°25'
Пятый . . . . .	3,0 : 50 = 0,0600	3°25'

О б ж а т и е

Ручей	Число пропусков	К а л и б р			Максимальное обжатие
		Ширина	Глубина	Вогнут.	
Первый . . . . .	2	457	321	13,0	444 — 321 = 123
Второй . . . . .	4	333	276	12,5	457 — 276 = 181
Третий . . . . .	2	289	219	8,0	333 — 219 = 114
Четвертый . . . . .	2	230	175	5,0	289 — 175 = 114
Пятый . . . . .	1	184	178	0	230 — 178 = 52

Возможное уширение в ручьях

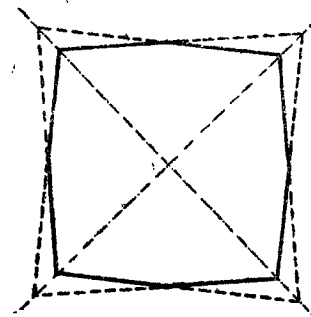
2-й ручей . . . . .	333 — 295 = 38	38 : 181 = 21 %
3-й " . . . . .	289 — 251 = 38	38 : 114 = 33 %
4-й " . . . . .	230 — 203 = 27	27 : 114 = 24 %
5-й " . . . . .	184 — 165 = 19	19 : 52 = 37 %

## ГЛАВА V.

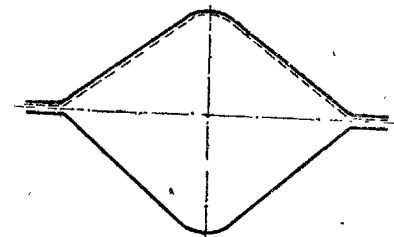
### Калибровка черновых валов.

Ромбические ручки для прокатки квадратной заготовки (каляжные валы). Ручьи типа валов блюминга употребляются для обжима слитков и для прокатки квадратной заготовки не менее 120 — 125 мм (4 — 5 дюймов) в стороне квадрата. Для дальнейшего уменьшения площади сечения заготовки обыкновенно применяются ромбические ручки.

Ромбические ручки имеют одно неоцененное преимущество: из всякого ромбического ручья можно получить приближающуюся к квадрату заготовку, если, повернув полосу на 90°, пропустить ее вторично через тот же ромбический ручей. Результатом этого будет комбинация двух ромбов — восьмиугольник с закругленными углами, весьма близкий по форме к квадрату (фиг. 85). При этом



Фиг. 85.



Фиг. 86.

в одной и той же ромбической борозде можно получать ромбы различной высоты. Стоит только поднять несколько верхний вал над нижним (фиг. 86), и мы получим ромб побольше, а следовательно, и квадратную заготовку несколько побольше. Это делает ромбические ручки неоцененным пособием калибровщика.

Например, катается какой-нибудь сорт. Один день печи греют помягче, а другой день пожестче; один раз погода жаркая, другой день приходится работать в трескучий мороз. Одна смена работает согласно, дружно, умело, другая же смена работает вяло и т. д. Все это сказывается на температуре прокатки и, следовательно, на уширении металла при прокатке, т. е. на чистоте профиля.

Смена, работающая железо холодно, может выкатать его с заусенками. Смена, работающая горячо, может выкатать железо с невыполненными углами. Ни то ни другое железо принято не будет. Железо можно катать как угодно, но оно должно быть верно по шаблону. Вот тут-то спасителями дела и являются ромбические ручки. Железо не выполняет профиля — прибавить каляги (заготовки) на 1/2 мм, 1 мм или сколько надо. Железо идет с заусенками — убавить каляги насколько нужно. Прибавка и убавка заго-

товки производится поворотом головных винтов станины и подъемом вала в 2—3 минуты.

Легкость, с какою меняется размер заготовки в ромбических ручьях, делает то, что все среднесортные, мелкосортные и профильные сорта, катаемые в прокатных станах, проходят непременно через ромбические ручьи. Порядок таков: слиток проходит через блюминг, обжимается до  $100 \times 100$  мм или около того, затем идет в ромбические валы, а после них в валы отделочные с профильными, фасонными ручьями.

Поэтому если мы имеем какой-нибудь среднесортный или мелкосортный стан, то в корне его обыкновенно находится бессменная пара или трио валов с ромбическими ручьями, которая является, так сказать, родоначальницей всех профилей, выкатываемых в данном стане. Все калибровки привязываются к этой паре валов, и исходным материалом для всякого не крупного фасонного железа является заготовка, дважды пропущенная через соответствующий ромбический ручей.

Проектирование таких валов делается по особой программе. Тут не преследуется возможно быстрый переход от одного сечения к другому. Эти валы проектируются так, чтобы в них можно было взять заготовку, близкую к квадрату:

95, 90, 85, 80, 75, 70, 65, 60, 55, 50, 45 и 40 мм,

правильность обжатия тут уже отходит на второй план.

Но есть валы, специально проектируемые для быстрого последовательного перехода от одного сечения к другому. Это валы специального назначения, употребляемые в случае массового производства известных сортов. Так как свойства прокатки в ромбических ручьях сказываются именно в этих валах, то мы их и будем иметь в виду.

**Геометрия ромба (фиг. 87).**

1) Площадь ромба равна

$$\omega = \frac{bh}{2} = aH = a^2 \sin \beta.$$

2) Сторона ромба:

$$a = \frac{b}{2 \sin \frac{\alpha}{2}} = \frac{h}{2 \sin \frac{\beta}{2}} = \frac{b}{2 \cos \frac{\beta}{2}} = \frac{h}{2 \cos \frac{\alpha}{2}}.$$

3) Диагональ ромба:

$$b = 2a \sin \frac{\alpha}{2} = h \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} = h \operatorname{ctg} \frac{\beta}{2}$$

$$h = 2a \sin \frac{\beta}{2} = b \operatorname{tg} \frac{\beta}{2} = b \operatorname{ctg} \frac{\alpha}{2}.$$

4) Отношение диагоналей подобных ромбов:

$$b : h = b_1 : h_1 = b_2 : h_2 = \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} = \operatorname{const.}$$

5) Отношение площадей подобных ромбов:

$$\frac{\omega}{\omega_1} = \frac{bh}{b_1 h_1} = \frac{a^2}{a_1^2} = \frac{b^2}{b_1^2} = \frac{h^2}{h_1^2} = \kappa.$$

6) По заданному коэффициенту уменьшения площади и диагонали определить остальные диагонали:  $b_1, b_2, b_3$  и т. д.

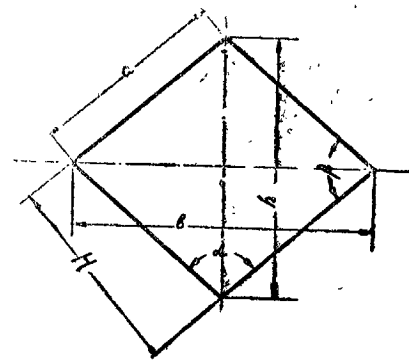
$$b_1 = b \sqrt{\frac{1}{\kappa}};$$

$$b_2 = b_1 \sqrt{\frac{1}{\kappa}} = b \sqrt{\frac{1}{\kappa^2}};$$

$$b_3 = b_2 \sqrt{\frac{1}{\kappa}} = b \sqrt{\frac{1}{\kappa^3}};$$

$$\dots$$

$$b_n = b \sqrt{\frac{1}{\kappa^n}}.$$



Фиг. 87.

7) Для ромба  $\angle \alpha = 100^\circ, \angle \beta = 80^\circ$ ;

$$\operatorname{tg} 40^\circ = \operatorname{ctg} 50^\circ = 0,84$$

$$\operatorname{tg} 50^\circ = \operatorname{ctg} 40^\circ = 1,19$$

$$\sin 50^\circ = \cos 40^\circ = 0,766$$

$$\sin 80^\circ = 0,985.$$

$$h = b \operatorname{tg} \frac{\beta}{2} = 0,84 b.$$

$$a = \frac{b}{2 \sin \frac{\alpha}{2}} = \frac{b}{2 \cdot 0,766} = 0,65 b.$$

8) Задаемся  $\kappa = 1,26$ . Определить ряд ромбов с этим коэффициентом уменьшения.

$$b_1 = b \sqrt{\frac{1}{1,26}} = b \sqrt{0,79} = 0,89 b,$$

$$b_2 = b \sqrt{(0,79)^2} = 0,79 b,$$

$$b_3 = b \sqrt{(0,79)^3} = 0,70 b,$$

$$b_4 = b \sqrt{(0,79)^4} = 0,62 b.$$

Таким способом строится ряд ромбов, площади которых последовательно уменьшаются в 1,26 раза.

9) Площадь комбинации двух ромбов, площадь „квадратной заготовки“, или „каляги“, равна  $\frac{1}{2}$  площади основного ромба плюс площадь ромба, сторона которого есть половина высоты ( $\frac{1}{2} h$ ) основного ромба:

$$\omega = \frac{1}{2} \frac{bh}{2} + \left(\frac{h}{2}\right)^2 \sin \beta \text{ или } \omega = \frac{bh^2}{h+b}.$$

10) Заготовка измеряется по ширине боковой грани, которая равна стороне основного ромба, а поэтому, если катается, например, заготовка 50 мм, то борозда для нее готовится с диагональю:

$$b = a \cdot 2 \sin \frac{\alpha}{2}, \text{ где } a = 50 \text{ мм.}$$

11) Ряд ромбов построен так, что  $h = b_1$ ;  $h_1 = b_2$  и т. д. Найти выражения для  $\kappa$ .

$$h = b \operatorname{tg} \frac{\beta}{2} = b_1 = b \sqrt{\frac{1}{\kappa}}; \operatorname{tg} \frac{\beta}{2} = \sqrt{\frac{1}{\kappa}}.$$

При  $\frac{\beta}{2} = 40^\circ$  получим

$$\sqrt{\frac{1}{\kappa}} = 0,84; \kappa = \frac{1}{0,706} = 1,41,$$

т. е. площади ромбов будут уменьшаться в прогрессии, знаменатель которой  $\kappa = 1,41$ .

Нормальный тип ромбических ручьев имеет

$$\text{угол } \alpha = 100^\circ, \beta = 80^\circ, \kappa = 1,26.$$

Из пункта 11-го мы видели, что если принять вертикальную диагональ одного ромба за горизонтальную диагональ следующего, т. е. принять  $b_1 = h$ , то коэффициент уменьшения площадей ромбов будет 1,41. Практика же берет  $\kappa$  равным только 1,26, т. е. горизонтальная диагональ  $b_1 > h$  и разница  $b_1 - h$  оставлена на уширение при переходе из одного ручья в другой.

Величина уширения будет равна

$$b_1 = b \sqrt{\frac{1}{1,26}} = 0,89 b,$$

$$h = b \operatorname{tg} 40^\circ = 0,84 b.$$

На уширение дано  $0,89 b - 0,84 b = 0,05 b$ .

Вертикальное обжатие, которое испытывает болванка при переходе из ромба с диагональю  $b$  в ромб с диагональю  $b_1$ , будет равно

$$b - h_1 = b - b_1 \cdot \operatorname{tg} 40^\circ = b - 0,89 \cdot 0,84 b = b - 0,748 b = 0,252 b.$$

Откуда следует, что на уширение пущено

$$0,05 b : 0,252 b = 20\% \text{ вертикального обжатия.}$$

Имея же в виду, что угол  $\alpha$  имеет всегда легкое закругление, получим, что при такой прокатке допускается уширение более 20% вертикального обжатия.

Ромбические ручки указанного типа применяются для прокатки квадратного и полосового железа, от которых требуется острота углов.

Коэффициент обжатия, ими достигаемый:  $\kappa = 1,26$  нужно считать средним, но иногда применяется и больший коэффициент обжатия.

**Ромбические ручки с коэффициентом обжатия  $\kappa = 1,41$ .**

Ромб имеет углы:  $\alpha = 100^\circ$  и  $\beta = 80^\circ$ .

$$b = 1,19 h, h = 0,84 b,$$

$$b_1 = h = 0,84 b,$$

$$b_2 = h_1 = 0,84 b_1 = (0,84)^2 b = 0,70 b,$$

$$h_2 = (0,84)^3 b = 0,59 b = b_3,$$

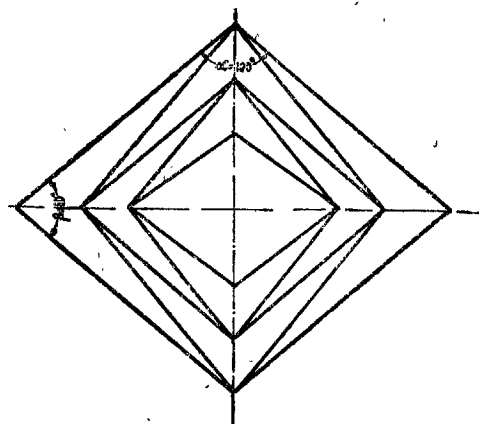
$$h_3 = 0,49 b = b_4,$$

$$h_4 = 0,41 b.$$

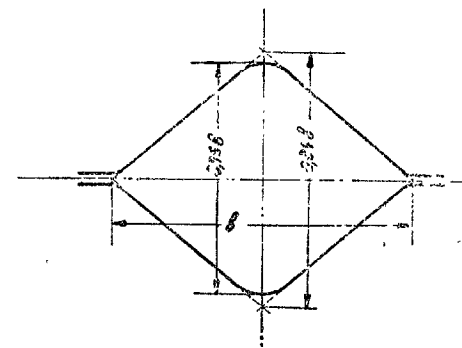
Графическая система вычерчивания серии ромбов, отвечающих условию

$$h = b_1,$$

видна из фиг. 88. Но очевидно, что система так построенных ромбов не обеспечивает возможности уширения металла.



Фиг. 88.



Фиг. 89.

Возможность же уширения достигается притуплением угла, причем высота ромба уменьшается до  $0,75 b$ , вместо  $0,84 b$  (фиг. 89), откуда следует, что в уширенной борозде дано на уширение

$$0,84 b - 0,75 b = 0,09 b.$$

Вертикальное обжатие будет

$$b - 0,70 b = 0,30 b,$$

откуда следует, что на уширение дано

$$0,30 \ b : 0,84 \ b = 36\% \text{ вертикального обжатия,}$$

что должно считать достаточным.

**Черновые валы по системе: квадрат, ромб, квадрат, ромб и т. д. завода Пин (Peine).** Проектируется ряд квадратов, площади которых относятся между собою как 2 к 3 следовательно,

стороны, как  $\sqrt{1,5} = 1,22$ . Вертикальные углы этих квадратов округляются до  $86\%$  высоты (фиг. 90), т. е. если сторона первого квадрата  $a$ , то диагональ его  $b_1 = a_1 \sqrt{2} = 1,41 \ a_1$ , высота калибра

$$h_1 = 0,86 \cdot a_1 \cdot \sqrt{2} = 0,86 \cdot 1,41 \cdot a_1 = 1,21 \ a_1.$$

Сторона второго квадрата (третьего ручья) будет

$$a_3 = a_1 : \sqrt{1,5} = 0,82 \ a_1,$$

$$b_3 = a_3 \cdot \sqrt{2} = 0,82 \cdot 1,41 \cdot a_1 = 1,16 \ a_1,$$

$$h_3 = 0,86 \cdot 1,16 \cdot a_1 = 0,997 \ a_1 \approx a_1.$$

Сторона третьего квадрата (пятого ручья) найдется по стороне второго квадрата (третьего ручья) следующим образом:

$$a_5 = a_3 : \sqrt{1,5} = 0,82 \ a_3 = (0,82)^2 \ a_1 = 0,67 \ a_1,$$

$$b_5 = a_5 \sqrt{2} = 0,67 \cdot 1,41 \ a_1 = 0,945 \ a_1,$$

$$h_5 = 0,86 \cdot 0,945 = 0,81 \ a_1.$$

Между первым и вторым квадратом помещен ромб с углами:

$$\alpha = 97^\circ; \beta = 83^\circ.$$

Диагональ этого ромба  $b_2 = 0,9 \ b_1$ , где  $b_1$  — диагональ первого квадрата, следовательно:

$$b_2 = 0,9 \ b_1 = 0,9 \cdot 1,41 \cdot a_1 = 1,27 \ a_1.$$

Вся высота этого ромба

$$h_2 = b_2 \cdot \frac{1}{\frac{1}{\tan \frac{97^\circ}{2}}} = b_2 \cdot \frac{1}{1,13} = 1,27 \ a_1 \cdot \frac{1}{1,13} = 1,27 \cdot 0,885 \cdot a_1 = 1,12 \ a_1.$$

Но углы этого ромба закруглены, и действительная высота его

$$h_2 = 0,86 \times 1,12 \ a_1 = 0,96 \ a_1.$$

По этой системе построения на уширение остается из первого квадрата в ромб уширение:

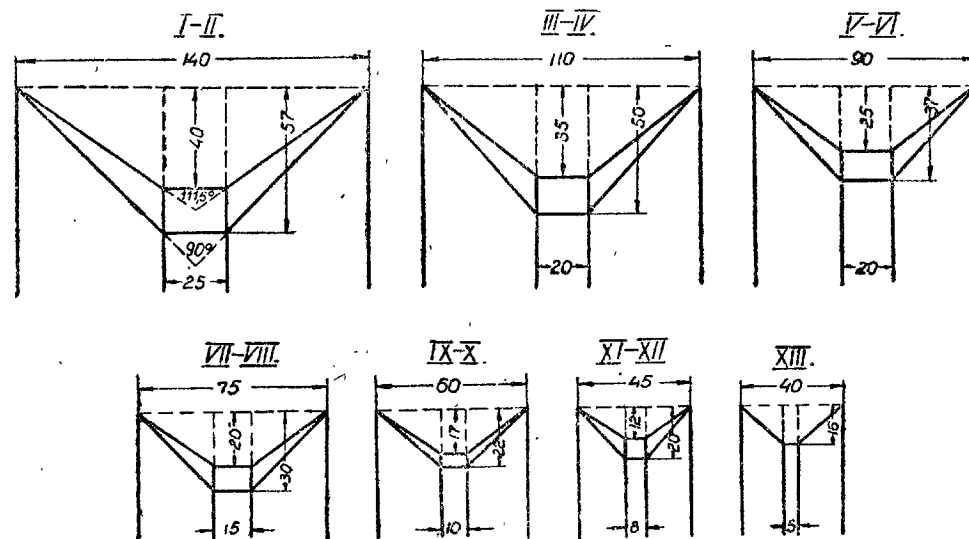
$$b_2 - h_1 = 1,27 \ a_1 - 1,21 \ a_1 = 0,06 \ a_1.$$

Вертикальное давление:

$$b_1 - h_2 = 1,41 \ a_1 - 0,96 \ a_1 = 0,45 \ a_1.$$

Уширение равно  $0,06 : 0,45 = 13\%$  вертикального обжатия.

Этого уширения очевидно мало; металл дает заусенки, и потому углы  $\beta$  ромба приострены дугами, что дает возможность получить эти заусенки толстыми и короткими.



Фиг. 91.

Уширение из первого ромба во второй квадрат:

$$b_3 - h_2 = 1,16 \ a_1 - 0,96 \ a_1 = 0,20 \ a_1,$$

вертикальное давление:

$$b_2 - h_3 = 1,27 \ a_1 - a_1 = 0,27 \ a_1,$$

последнее в самом деле будет несколько больше, ибо  $b_2$  будет иметь заусенок. Очевидно, уширение слишком велико, и квадрат не будет иметь острого угла.

Преимущества этой системы: чередование ромба и квадрата, который удобно раздавливается в полосовое железо. Этим экономится один пропуск, так как в обыкновенных ромбических ручьях надо пропускать полосу дважды для получения квадратной заготовки.

Средний коэффициент обжатия для этой системы  $k = \sqrt{1,5} = 1,22$ , т. е. тот же, что для обыкновенных ромбических ручьев с острыми углами.

**Система квадрат, ромб, квадрат, ромб для сдвоенных последовательных черновых валов.** В заводе Домнарфверт черновой стан для заготовки состоит из двух трио, поставленных друг за другом. Полоса, пройдя ручей в первом трио, сама задает себя во второе трио и выходит наружу. Чертеж (фиг. 91) взят из книги Эренверта (*Ehrenwerth*).

Взят ряд последовательных квадратов с коэффициентом уменьшения площадей 1,5. В промежутках между квадратами полоса проходит ромбы, построенные на диагонали квадратов с углом около  $110^\circ$ .

Уширение для квадрата и ромба надо считать общим. Оно равно для борозды III и IV

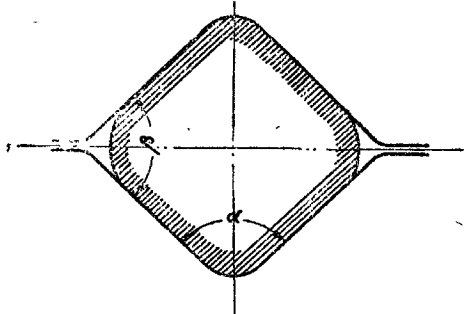
$$110 - 80 = 30 \text{ мм.}$$

Вертикальное обжатие:  $140 - 70 = 70 \text{ мм.}$

Уширение равно  $30 : 70 = 43\%$  вертикального обжатия, т. е. оно более, чем достаточно.

Проектирование станов непрерывной прокатки усложняется разной угловой и линейной скоростью первого и второго последовательного трио. Проект калибровки должен быть сделан так, чтобы квадрат, подаваемый первой парой, успел бы быть принятым второй парой; рекомендуется даже для запаса вести расчет калибровки последовательных ручьев так, чтобы второе „трио“ тянуло железо из первого трио.

**Свертывание в ромбических ручьях.** При прокатке полос мелкой квадратной заготовки, в несколько десятков метров длиной,



Фиг. 92.

явление свертывания не представляет редкости. Свертывание является в данном случае результатом неправильности положения прокатываемой полосы. Ручей не в состоянии бывает повернуть неверно лежащую на роликах полосу, она свертывается.

При этом констатируется удивительное свойство ромбических ручьев. Казалось

бы, что сильное притупление угла  $\alpha$  и приострение угла  $\beta$  должны способствовать свертыванию прокатываемой полосы. Ведь в следующей борозде приостренный угол поступает в притупленный угол. Задать при таких условиях полосу верно довольно трудно: неверно заданная полоса, казалось бы, легко может быть свернута. Практика не оправдывает этого опасения: угол  $\alpha$  можно притуплять, а угол  $\beta$  приострять без риска свертывания полосы, но во избежание свертывания нельзя катать железо в ромбических ручьях со слабым давлением. Напротив того, чем сильнее давление и коэффициент  $k$  больше, тем меньше риск свертывания, тем прочнее держится полоса бороздой.

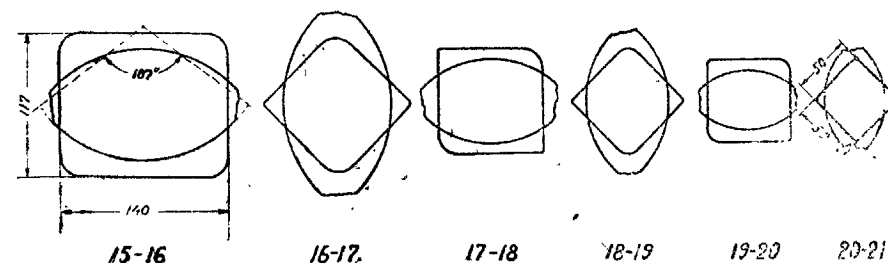
Причина свертывания при малых коэффициентах  $k$ , повидимому, недостаточно развитое уширение полосы и невыполнение угла  $\beta$ , что округляет полосу и делает ее неустойчивой в борозде (фиг. 92).

В Нижней Салде была спроектирована пара валов с весьма малым  $k$ . Прокатку вели, проходя последовательно все ручьи. Полосы постоянно свертывало. Тогда начали катать через борозду, свертывание прекратилось, хотя угол  $\beta$  был приострен, а нередко выдавливалась даже порядочная заусеница.

**Система овал-квадрат, примененная для черновых среднесортных валов.** Мы видели, что к недостаткам ромбических ручьев надо отнести возможность появления трещинок на углах полосы. Угол  $\beta$  ромбических ручьев не поддерживает металла, и последний в нем подвержен свободному уширению, почему ромбические ручьи не способствуют закатыванию рванины на кромках заготовки.

Чтобы закатать рванины, весьма полезно обратить углы ромба в стороны, а стороны — в углы, что достигается системой овал-квадрат.

Эта система прилагалась в прежнее время исключительно для прокатки проволоки и самых мелких сортов железа, и только



Фиг. 93.

в последнее время ее стали применять к среднесортному и даже крупному железу.

Прилагаемый чертеж (фиг. 93) представляет прокатку заготовки  $50 \times 50 \text{ мм.}$

Ручей 15-й имеет размеры  $117 \times 140 \text{ мм.}$ , ручей 21-й квадрат  $50 \times 50 \text{ мм.}$ , т. е. весьма солидных размеров.

Правило для системы овал-квадрат в этом случае таково: площади квадратов относятся друг к другу как  $1,75 : 1$  до  $2 : 1$ .

Между квадратами вставлены овалы с центральным углом в  $107^\circ$ ; толщина их равна стороне квадрата, в который они поступают.

Овал, состоящий из двух сегментов с углом  $107^\circ$ , отличается следующими геометрическими свойствами:

стрелка  $= \frac{1}{2}$  толщины овала  $= 0,4$  радиуса;

хорда  $1,6$  радиуса  $= 2$  толщины овала;

площадь  $= 0,455 r^2$ .

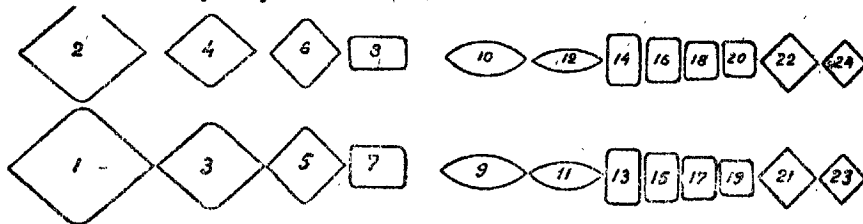
Назовем сторону первого квадрата  $a_1$ , его площадь  $a_1^2$ .

Следующий квадрат будет иметь сторону  $a_3$ , равную

$$a_1 : \sqrt{1,75} = 0,75 a_1.$$

Овал между квадратами  $a_1$  и  $a_3$  будет иметь:

$$\begin{aligned} \text{толщину } a_2 &= 0,75 a_1; \\ \text{длину хорды} &= 2 a_2 = 1,5 a_1; \\ \text{радиус} &= \frac{1}{2} a_2 : 0,4 = 1,25 a_2 = 1,25 \cdot 0,75 \cdot a_1. \end{aligned}$$



Фиг. 94.

Металл при задаче испытывает вертикальное обжатие, равное

$$a_1 \left( 1 - \frac{1}{\sqrt{1,75}} \right) = 0,25 a_1;$$

для уширения остается

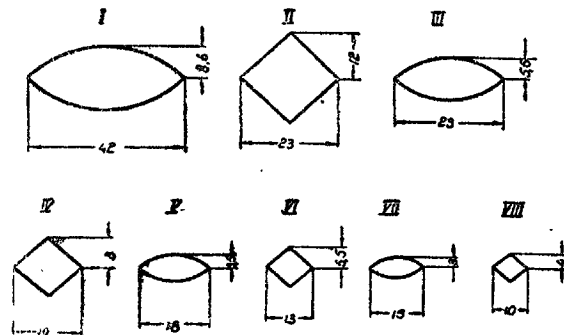
$$2 a_2 - a_1 = 1,5 a_1 - a_1 = 0,5 a_1,$$

т. е. он может ушириться в два раза, сравнительно с вертикальным обжатием. Очевидно, что при таких условиях уширение не заполняет борозды, как видно из чертежа (фиг. 93).

При отношении площадей квадратов 1 : 2, конечно, вертикальное обжатие больше, и овал наполняется больше.

Коэффициент сокращения площади при системе овал-квадрат значителен; он равен  $k = \text{от } \sqrt{1,75} \text{ до } \sqrt{2} = 1,32 \text{ до } 1,41$ .

На чертеже (фиг. 94) изображена система черновых валов средне-сортного стана завода Пин (Peine). Мы видим здесь комбинацию шести ромбических ручьев,



Фиг. 95.

двух прямоугольных пластовых, четырех овальных, 8 вертикальных на ребра и 4 стрельчатых квадратных, соответственно четырем овальным. Ручьи эти комбинируются всевозможным путем для взятия заготовки размера, нужного для прокатки разнообразнейших профилей.

Эренверт дал калибровку квадратного железа в непрерывном стане размером  $6 \times 8 \text{ мм}$ , изображенную на фиг. 95.

Создать хорошую систему калибровки, т. е. такую, чтобы иметь возможность обойтись немногими парами черновых валов для прокатки сотен профилей, задача в высшей степени трудная и требует от калибровщика большой опытности.

Если же принять в расчет, что стоимость цеховых расходов находится в прямой зависимости от необходимости менять более или менее часто валы, то мы придем к справедливому выводу, что калибровщик есть мозг прокатной фабрики и изучение калибровки есть наисущественнейшая необходимость для заводского инженера.

## ГЛАВА VI.

### Прокатка сортового железа.

**Прокатка листовой болванки для кровельного железа**<sup>1)</sup>. Листовая болванка представляет широкополосное железо в 150—175 мм ширины и более, разрезаемое на болваночки, длина которых немного более ширины листа, например, болванка для кровельного железа размеров  $1400 \times 700 \text{ мм}$  режется длиной 730 мм. Из каждой такой болванки выкатывается 1 листик кровельного железа.

При прокатке кровельного железа по европейскому способу из одной болванки выкатывается два листика; при прокатке жести — четыре, восемь и шестнадцать листиков; но всегда длина болваночки несколько больше ширины листа, увеличивается же только толщина болванки.

Толщина болванки задается не мерой, а весом, например, для 10-фунтового (4 кг) кровельного железа нужно катать 13-фунтовую (5,3 кг) болванку. Допуск дается  $\pm 0,1—0,2 \text{ кг}$ . Здесь ширина болванки не имеет никакого значения: получилось железо 150 мм прекрасно, 155, 168 — то же. Это редкий случай калибровки, когда поперечные размеры не играют никакой роли. Важно одно: постоянство толщины полосы, чтобы достигнуть постоянства веса. Допуск в толщине болванки на 0,5 мм (обыкновенный допуск при прокатке сортового железа) дает разность в весе болванки в 0,4 кг, откуда следует, что, ставя допуск  $\pm 0,2 \text{ кг}$ , мы усиливаем для чернового материала требование точности прокатки по толщине в два раза сравнительно с сортовым железом. Ставя предел  $\pm 0,1 \text{ кг}$ , мы требуем точности в 4 раза больше требований для сортового железа.

Для удачного исполнения этого требования обыкновенные станы представляют большие трудности. Опыт показывает, что колебания в весе болванки даже в одной полосе бывают довольно значительны, что зависит от неравномерности нагрева слитков, от нагревания борозды во время прокатки длинных полос, от эксцентрисичности борозды (центр окружности борозды не совпадает с центром окруж-

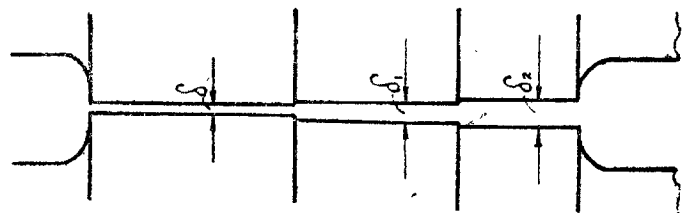
<sup>1)</sup> Красная болванка, узкая болванка, сутунка.



ности шейки на десятые доли миллиметра), от некоторой эллиптичности шейки или борозды и многих других причин <sup>1)</sup>).

Опыт показывает, что листовая болванка идет тем более верного веса, чем меньше напрягаются органы стана во время последнего пропуска, т. е. чем меньшее обжатие дается болванке в последнем пропуске.

Но так как катать длинные ленты листовой болванки надо быстро, ибо при толщине от 3 до 6 миллиметров она стынет очень быстро, то при проектировании калибровки для листовой



Фиг. 96.

болванки надо давать максимальное обжатие во всех бороздах, кроме последнего пропуска в лощильной или гладильной паре.

Чем меньше обжатие будет в ней дано, тем большая гарантия правильности развеса болванки.

Прокатка болванки обыкновенно ведется в трио, кроме последних трех пропусков <sup>2)</sup>. Для них на хвосте стана помещают дуо валов с закаленной поверхностью, прокатку ведут загибом заднего конца полосы вокруг верхнего или лучше нижнего вала. Установка дуо легче, чем трио, установка же валиков для листовой болванки нужна весьма тщательная, ибо при одностороннем давлении на полосу она идет из валов не прямо, а по дуге — „серпит“, что до крайности затрудняет прокатку.

Так как в верности ширины болванки нет надобности, равно как и в остроте уголков полосы, то „лощилки“ делаются в виде гладких ступенчатых валиков (фиг. 96).

В зависимости от веса болванки устанавливается  $\delta$ , тогда сами собой устанавливаются и толщины предотделочных борозд.  $\delta_1$  следует делать на  $1-1\frac{1}{2}$  мм больше; что касается  $\delta_2$  и  $\delta_3$ , то в них должно давать очень большое обжатие, в предупреждение охлаждения очень длинной и тонкой полосы. На практике делают  $k=1,5$  и даже 2.

В „лощилки“ передают полосу из черновой пары не очень длинную. Перетаскивание длинной полосы очень замедлило бы маневр; обыкновенно из последней борозды черновой пары в лошилки полоса поступает с толщиной около 20 мм. Распределение

<sup>1)</sup> Самая главная причина разницы в развесе болванок из одной полосы заключается в том, что в последнем пропуске задний конец полосы (всегда длинней) проходит валы значительно позже переднего конца, а поэтому при более низкой температуре. Н. С.

<sup>2)</sup> В настоящее время предпочитают катать листовую болванку до конца в трио. Н. С.

давления может быть таково: 20 мм,  $10\frac{1}{2}$  мм, 7 мм, 4 мм и прогладка для верности веса.

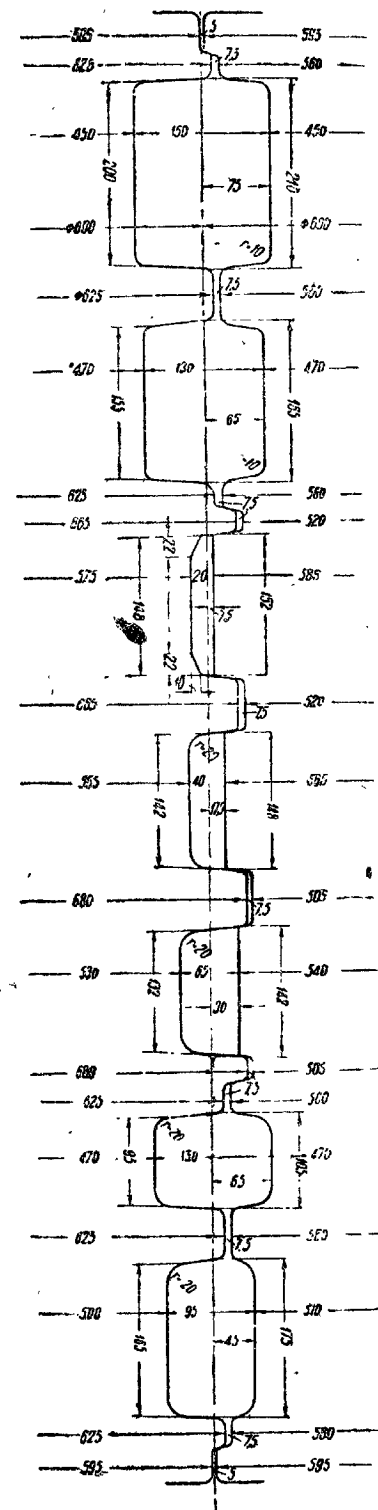
Проектирование черновых валов для листовой болванки на Урале страдает одним общим недостатком: незначительностью уширения, малым выпуском. Прокатка листовой болванки с заусенками почти нормальное явление. В заводах принято объяснять это явление большим обжатием металла в бороздах, что не имеет никаких оснований. Причина заусенков — несоответствие между уширением и вертикальным давлением.

Из калибровок различных Уральских заводов, имеющих в нашем распоряжении, наиболее совершенною является калибровка Нейво-Алапаевского завода, спроектированная Н. С. Коноваловым (фиг. 97).

Из слитка  $190 \times 190$  мм в семь ручьев и восемь пропусков получается полоса  $150 \times 20$  мм, средний коэффициент обжатия выходит:

$$\begin{aligned} (190 \times 190) : (150 \times 20) &= \\ &= 36100 : 3000 = k^8 \\ k &= 1,365. \end{aligned}$$

Прежде всего вытягивается последняя или по общепринятой номенклатуре первая борозда; так как она служит часто как отделочная или предотделочная борозда для прокатки жести, то для большего удобства захвата жестяной болванки листокатальными валами этой последней дают скошенные углы. При прокатке листовой болванки для кровельного железа борозда вытягивается без скосов. Толщина этой борозды — 20 мм, дно калибра имеет 148 мм,



Фиг. 97.

верх — 152 мм, холодная полоса выйдет в 150 мм<sup>1)</sup>. Бока калибра имеют выпуск в 10%.

В эту „первую“ борозду поступает железо из „второй“ борозды, причем железо поворачивается на 180°.

Высота „второй“ борозды 40 мм, дно — 142 мм, верх — 148 мм. Вертикальное обжатие — 20 мм;

$$k = \frac{40 (148 + 142)}{20 (148 + 152)} = 1,93.$$

Уширение равно  $152 - 142 = 10$  мм, т. е. около 50% вертикального обжатия, поэтому опасаться заусениц нет никаких оснований, тем более, что закругление углов в нижнем валу еще более гарантирует от них. Выпуск борозды — 7,5%.

Высота „третьей“ борозды — 65 мм, дно — 132 мм, верх — 142 мм. Вертикальное обжатие из третьей борозды во вторую — 25 мм. Коэффициент уменьшения площади

$$k = \frac{65 (142 + 132)}{40 (148 + 142)} = 1,54.$$

Уширение равно  $148 - 132 = 16$  мм, т. е. 0,64 вертикального обжатия; кроме того, отсутствие заусенков гарантируется закруглениями в нижнем валу.

В четвертой борозде прокатываемая полоса катается на ребро. Из пятой борозды получается полоса 175 мм ширины. Ее приходится осадить до 130 мм, ибо дно в третьей борозде равно 132 мм, толщина полосы в четвертой борозде равна примерно 100 мм, поэтому обжатие из четвертой в третью борозду будет 35 мм, а угол захвата будет 20°50'.

$$k = \frac{100 \cdot 130}{65 \frac{(142 + 132)}{2}} = 1,46.$$

Уширение будет равно  $142 - 130 = 12$  мм, т. е. больше 4% вертикального обжатия. Отсутствие заусенков обеспечивается закруглениями в верхнем и нижнем валах.

Выпускной угол в этой борозде 6% (3°20') меньше 10%, ибо выпуск в 10% без нужды расширил бы эту глубокую борозду.

Ширина пятой борозды, как сказано выше, 175 мм; она осаживается в четвертой борозде до 130 мм — на 45 мм, причем угол захвата для четвертой борозды выходит 25°16,5'. Коэффициент обжатия из пятой в четвертую борозду

$$k = \frac{95 \cdot 175}{100 \cdot 130} = 1,29.$$

<sup>1)</sup> Усадка горячего металла равна 1%, почему все размеры калибров увеличиваются на 1%.

В шестой борозде слиток имеет высоту 130 мм и ширину 165 мм. Переходя в пятую борозду, он подвергается обжатию в 35 мм, при угле захвата 21°28,5' и уширится на 10 мм, что составит 0,29 вертикального давления. Выпускной угол шестой борозды 6% (3°20').

В седьмой борозде слиток 190 × 190 мм подвергается обжатию в 40 мм, но слиток настолько скошен на конус, что эту борозду он проходит без труда. В седьмой борозде слиток пропускается два раза, причем поворачивается на 90°.

Хотя возможно задать в шестую борозду слиток и после одного прохода размеров 190 × 150 мм, причем придется нажать на толстый конец слитка сразу на 60 мм, на тонкий же — около 35 мм, но при такой слишком энергичной работе слиток может в валах остановиться, ибо угол захвата выйдет в этом случае

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

$$\cos \alpha = 1 - \frac{60}{450} = 0,867; \alpha = 30°.$$

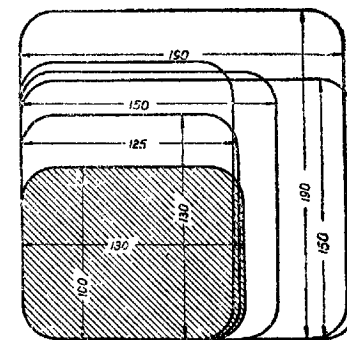
Такая величина угла захвата хотя и будет только в конце прохода, но тем не менее есть опасность остановки слитка.

Недостатком этой калибровки является калибр на ребро. Этих калибров прокатные мастера вообще не любят, ибо задача в них всегда идет труднее, чем в калибры пластовые. В данном случае его не трудно было обойти как показано на фиг. 98.

В конструкции этих валков на листовую болванку мы видим применение принципа располагать ручьи, врезающиеся глубоко в вал, на краях вала поближе к шейкам. В середине его располагают ручьи неглубокие. Такое расположение способствует большей прочности вала, получающего форму бруса равного сопротивления.

**Прокатка шинно-плющильного железа.** Шинно-плющильным железом называется полосовое железо, получаемое прокаткой квадратной заготовки в ступенчатых валках (фиг. 99), причем кромки железа не поддерживаются боками борозды, а свободно уширяются и получают полукруглую форму. Обыкновенно железо это не широкое (до 60 мм) и не толстое, не толще 6 мм.

Толщина железа зависит от площадки на валках, на которой катают железо, и доводится до нужной толщины установкой верхнего валка. Ширина железа регулируется размером квадратной заготовки, которая берется из ромбических ручьев. Мы видели, что, поднимая и опуская верхний валик, можно весьма точно установить

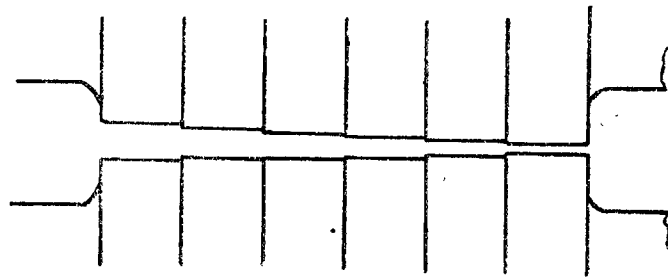


Фиг. 98.

размер болванки, выходящей из данного ромбического ручья, чем и пользуются.

Болванка в последнем ромбическом ручье прокатывается два раза с поворотом на  $90^\circ$ .

**Прокатка полосового железа.** Полосовых сортов железа так много, что готовить ручьевые валы для всех сортов невозможно. Ручьевые валы приготавливаются только для сортов, требуемых

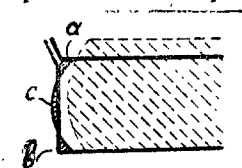


Фиг. 99.

большими партиями, например, железнодорожные подкладки. При мелких дробных заказах на полосовое железо последнее катается или в универсальных станах, или же в ступенчатых валах „на ребро“.

Прокатка в универсальных станах несравненно удобнее, переход от сорта на сорт легче, и профиль красивее, чем при прокатке на ребро.

Красота полосового железа заключается в выполнении и правильности прямых углов. Такое железо легко получается только



Фиг. 100.

в универсальных станах. В ручьевых же валах получают или заусенки, или закругленность кромок. Закругленность кромок полосового железа есть естественное очертание подвергнутого обжатию железа. Желая получить острые кромки полосового железа, мы хотим выполнять уголки  $a$  и  $b$  за счет сегмента  $c$  (фиг. 100), что, очевидно, можно сделать только за счет уширения в последней борозде. Отсюда следует, что для получения острых кромок приходится в отделочной борозде давать усиленное обжатие.

При зависимости уширения от многих причин (главным образом от температуры полосы) заострить кромки полосы и не получить заусенки или заусенки весьма трудно. Поэтому на практике получают плохо выполненные кромки, или железо с заусенками.

Выходом из этого положения служит получение в черновых бороздах полос с утолщенными кромками, раздавливая которые можно выполнить уголки при самом слабом давлении на среднюю часть полосы, т. е. вызывая не естественное уширение, как функцию многих переменных, а местное уширение — в самых кромках полос; материала в этих утолщениях так мало, что они не могут повлиять на вытяжку полосы, а потому при всяких условиях прокатки они

идут только на уширение ее и всегда на выполнение кромок полосового железа.

Этой же формы полосы, с утолщениями на кромках, прежде достигали прокаткой ее в ступенчатых валах стоя. Но так как удержать полосу стоя трудно, ибо оставленная без поддержки она бы свернулась на бок, то полоса каталась „на ребро“ через проводник с подвижной щекой. Перед задачей этой щека отодвигалась поворотом винта, а после задачи в валы полоса быстро зажималась подвижной щекой и плотно удерживалась в вертикальном положении. Таким образом прокатка велась в двух парах ступенчатых валов, верхние валы которых устанавливались выше или ниже, смотря по надобности.

Исходный материал, квадратная заготовка, катается на пласт, один раз на ребро и один раз на прогладку; для прогладки часто применялась отдельная гладкая пара с закаленной поверхностью.

В настоящее время при прокатке полосы ребровой пропуск дают не на гладких (ступенчатых) валах, где полосу очень трудно удержать на ребро, а пропускают через ребровой калибр, примером может служить прокатка, исследованная инженером Пуппе (Puppe).

1) Квадрат  $29 \times 29$  мм прокатывался в трех ступенчатых ручьях, в ступеньке на ребро и полировочном ручье получилось железо  $38 \times 7$  мм

$$\text{среднее } \kappa = \sqrt[5]{\frac{841}{266}} = \sqrt[5]{3,16} = 1,26.$$

2) Квадрат  $28 \times 28$  мм катался по той же программе, получилось железо  $30,2 \times 8,2$  мм; очевидно, в „ребровом“ ручье было дано более сильное давление

$$\text{среднее } \kappa = \sqrt[5]{\frac{784}{247}} = \sqrt[5]{3,18} = 1,26.$$

3) Квадрат  $64 \times 64$  мм катался по той же программе в железо  $70 \times 21$  мм

$$\text{среднее } \kappa = \sqrt[5]{\frac{4096}{1470}} = \sqrt[5]{2,79} = 1,23.$$

Если ступенчатые валы заменяются ручьевыми валами, поддерживающими выпуклость уширения, то обходятся и без прокатки на ребро, что видно из такого примера:

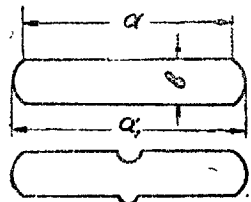
4) Квадрат  $42,5 \times 42,5$  мм катался в пяти ручьевых плоских калибрах в железо  $50 \times 10$  мм

$$\text{среднее } \kappa = \sqrt[5]{\frac{1800}{500}} = \sqrt[5]{3,6} = 1,29.$$

„Ребрового“ (*Stauchkaliber*) ручья не было, следовательно, в данном случае мы можем сделать правильное заключение об уширении; оно было равно

$$\frac{50 - 42,5}{42,5 - 10} \cdot 100 = 23\% \text{ вертикального обжатия.}$$

**Прокатка рессорной стали.** Чувство изящного требует от рессорной стали идеальной правильности, вернее красоты закругления и совершенной точности в расположении гуртика и выемки по середине полосы (фиг. 101). Это делает приготовление этого сорта стали чрезвычайно трудным, если калибровщик не догадается заставить за себя работать уширение. Сталь без гуртика катается как полосовое железо шириной  $a$  с выполненными углами, но высотой значительно больше  $b$ , от 1,3 до 1,6  $b$ . Затем в последнем пропуске в полировочном ручье ей дается столь сильное давление, чтобы она вышла высотой  $b$ , шириной  $a$  и закругление

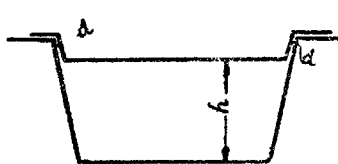


Фиг. 101.

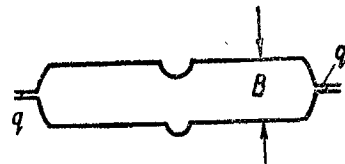
получилось бы настоящего радиуса. Точность расположения гуртика достигается правильным направлением полосы в повторном пропуске при помощи линеек.

Температура прокатки этой стали около  $700^{\circ}$ — $800^{\circ}$ ; металл довольно твердый ( $C=0,75\%$ ), и потому уширение значительно.

При прокатке рессоры в калибрах требуется подготовка полосы в предотделочной борозде трапециoidalной формы таких размеров



Фиг. 102.



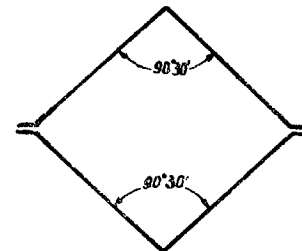
Фиг. 103.

(фиг. 102), чтобы отделочный калибр заполнился уширением, но не дал бы заусенок  $q$  (фиг. 103), что испортит весь профиль. Вместе с тем и в предотделочном, трапециoidalном калибре также не должно получиться заусенка  $d$ , ибо это также испортит профиль. Выполнить эту борозду удастся блистательно, сталь получается весьма красивая, но отношение  $h$  к  $b$  значительно, а именно около 1,6—1,8.

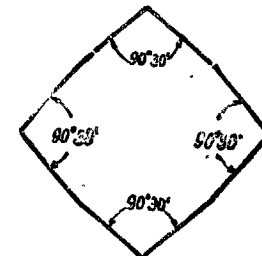
**Прокатка квадратного железа.** Прокатка квадратов представляет одну трудность — получение острых углов. Чтобы добиться этого результата, надо по крайней мере в двух предотделочных ручьях иметь ромбы без малейшего закругления угла. Острота угла в ромбических ручьях обеспечивает остроту квадрата.

При прокатке крупного квадратного железа нужно иметь в виду еще следующую предосторожность: температура углов заготовки всегда ниже температуры граней и осевых волокон полосы. Бла-

годаря этому происходит неравномерная усадка, и квадратное железо получается с заметно втянутыми сторонами. Чтобы избежать этого, углы делают не  $90^{\circ}$ , а от  $90,5^{\circ}$  до  $91^{\circ}$  (фиг. 104). Так как в отделочном ручье полоса поворачивается, то в резуль-



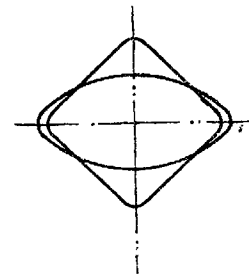
Фиг. 104.



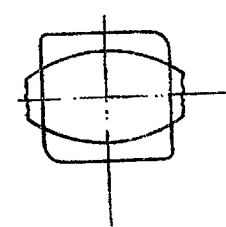
Фиг. 105.

тате получается квадрат с выпуклыми сторонами (фиг. 105). При остывании эти выпуклости утягиваются, и получается квадрат правильной формы.

**Прокатка круглого железа через проводник.** Правильность формы круглого железа зависит всецело от правильности формы заготовки и равномерности уширения. Система работы такова: ромбическая заготовка, квадрат, овал и круг. Считаем необходимым заметить, что старая система давить квадрат в овал с угла на угол (фиг. 106) должна быть оставлена по той причине, что углы овала имеют сравнительно низкую температуру, что отражается на круг-



Фиг. 106.



Фиг. 107.

лоте железа. На этом же основании оставлено в последнее время стремление получать из квадрата давлением на плоскость полный овал с острыми вершинами. Это невыгодно, ибо опять такие вершины овала выходят холодными. Теперь предпочитают брать для получения овала борозду более просторную, получать овал с невыполненными вершинами и такой овал давить в круг (фиг. 107), кроме того, самая заготовка катается с переходом через овал, квадрат, как было сказано выше. Пример такой калибровки помещен у Пуппе (*Puppe*) (фиг. 108).

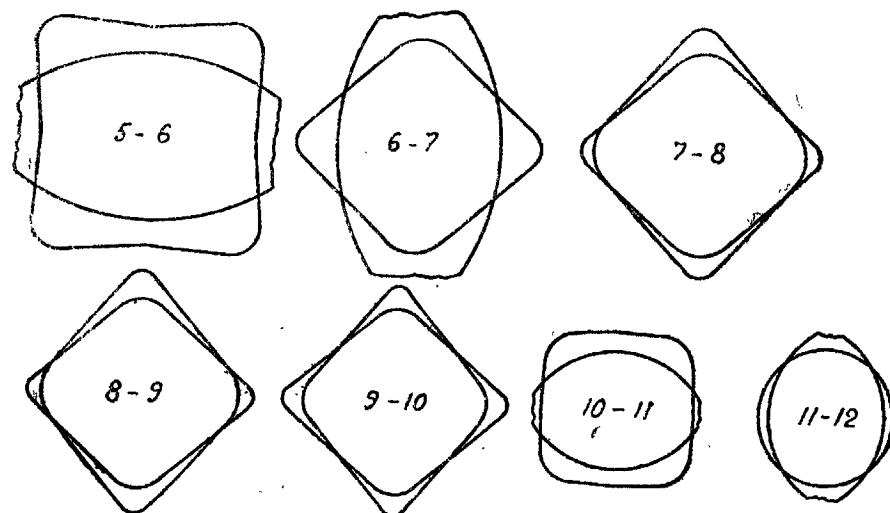
Квадрат, площадь которого в  $\frac{1520}{964} = 1,57$  раза больше площади

круга <sup>1)</sup>, раздавливается в овал с центральным углом в  $140^\circ$  и толщиной 0,9  $d$ .

При такой работе происходит нижеследующее сокращение площадей:

$$\kappa = \frac{\text{квадрат}}{\text{овал}} = \frac{1520}{1240} = 1,22; \quad \kappa = \frac{\text{овал}}{\text{круг}} = \frac{1240}{964} = 1,29,$$

т. е. работа идет весьма энергичная даже и в отделочном ручье, и потому круглота железа поставлена в полную зависимость от уширения, и застуженные штуки будут иметь несомненные заусенки,



Фиг. 108.

а слишком горячо прокатанные будут иметь впалые бока. Чтобы скрыть этот недостаток при прокатке круглого железа через проводник, круглой борозде дают некоторое уширение, которое делается радиусом, равным  $2r$ , на высоту  $15^\circ$  (фиг. 109).

Однако, в конце концов это плохо помогает, и прокатка через проводник дает всегда не очень круглое железо.

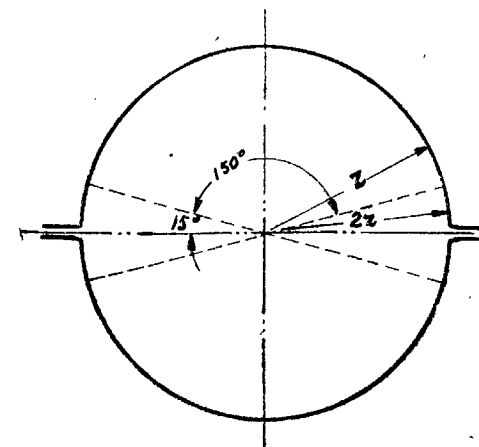
Чтобы избавиться от этого недостатка, надо сделать круглоту железа почти независимой от уширения. Для круглого железа от 75 до 175 мм это достигается прокаткой его из многогранной заготовки.

На фиг. 110 изображается калибровка Нижне-Салдинского завода. Квадрат, со стороной, равной  $1,04d$ , задается в предотделочную борозду, где одна пара его углов осаживается углом двенадцатигранника, равным  $150^\circ$ . Вторым пропуском под углом  $90^\circ$  осаживается также и другая пара углов, и из квадрата получается относительно правильный двенадцатигранник.

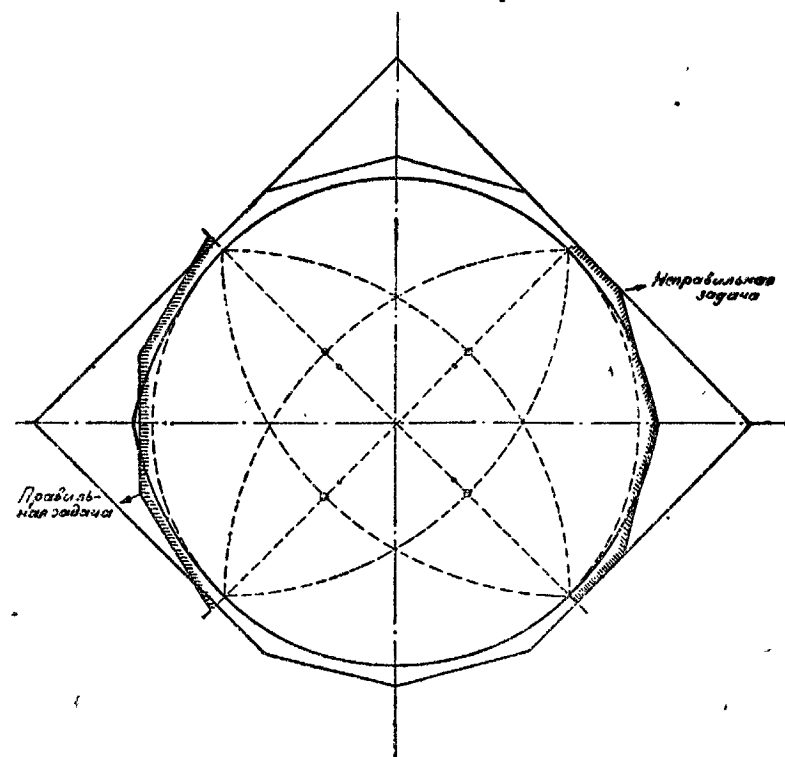
Чтобы обеспечить совершенно правильное развитие граней, квадрат задается в валы через проводники.

Затем этот двенадцатигранник, вписанный круг которого равен  $1,04d$ , задается в круглую борозду, поддерживаемый в правильном положении ручными клещами, что возможно только при тихом ходе машины. Что называется „правильной“ задачей, что — „неправильной“, показано на фиг. 110.

Уширение при правильной задаче вполне выполняет раструб или расширение круглой борозды, и штука, прошедшая валы в таком положении, не дает заусенков, но достаточно штуке повернуться на  $15^\circ$ , как возможно появление заусенков, так называемых крыльев.



Фиг. 109.

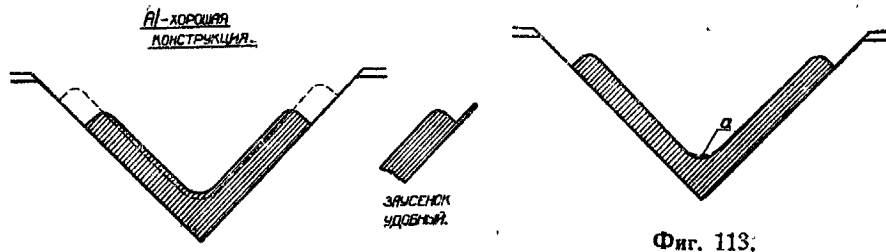


Фиг. 110.

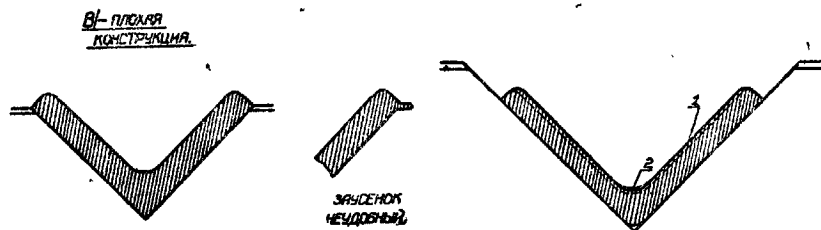
<sup>1)</sup> При этом сторона квадрата относится к диаметру круга как  $39:35 = 1,1$ .

Второй пропуск через валы под углом в  $90^\circ$  делает штуку почти круглой. Для получения вполне круглого железа нужно его пропустить на очень медленном ходу машины через отделочную борозду четыре — шесть раз. Если во время прокатки железо не свернуто, то круглота его выходит поразительная. Его легко катать с допуском в  $\pm 1/2$  мм при диаметре в 175 мм.

Чтобы железо не свертывалось, оно должно быть во время прокатки горячо и мягко. Остывшее (загрубелое) железо прокатать правильно невозможно: его неправильность по длине, коробова-



Фиг. 113.



Фиг. 114.

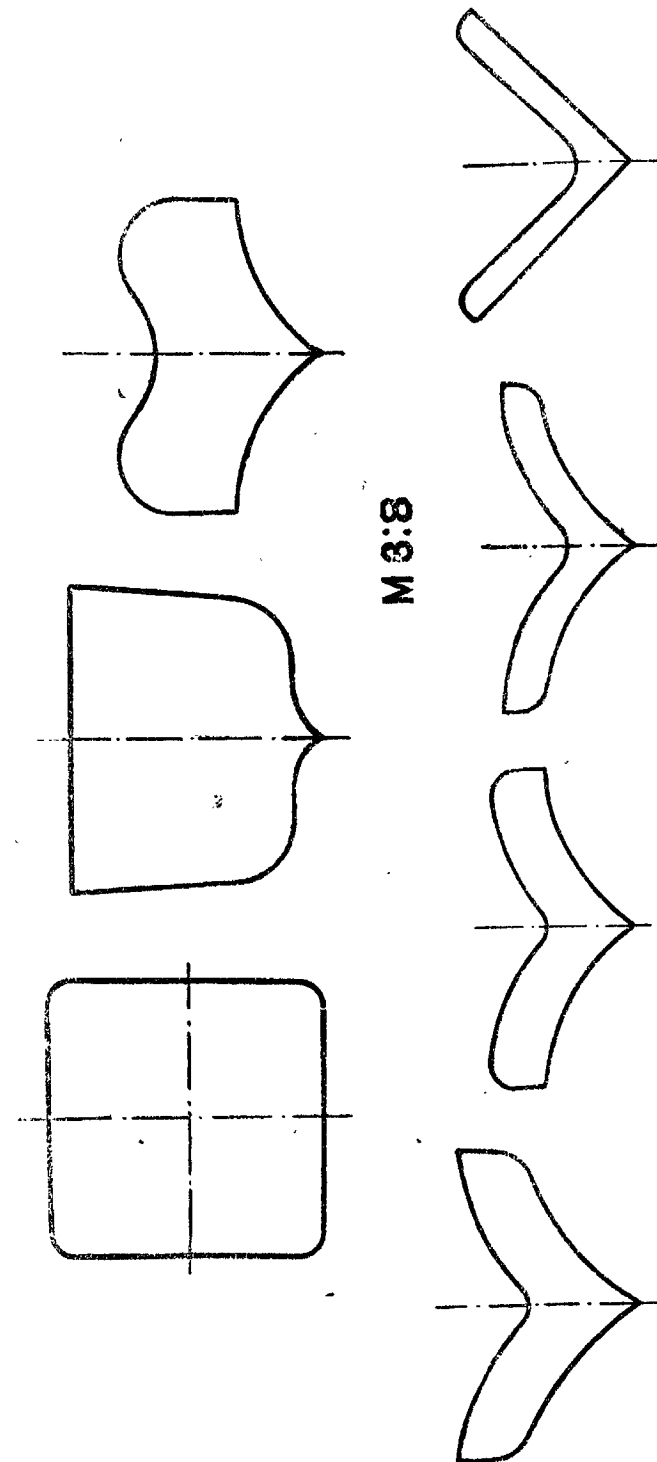
тость мешает правильному проходу полосы через валы, и оно свертывается.

Коэффициент обжатия  $k$  для двух пропусков в предотделочной полосе и трех в отделочных в среднем будет

$$k = \sqrt[5]{\frac{(1,04)^2 d^2}{\pi d^2}} = \sqrt[5]{\frac{(1,04)^2 \cdot 4}{\pi}} = \sqrt[5]{1,37} = 1,065,$$

т. е. весьма малый. Вот по этой причине железо быстро стынет во время описываемой прокатки, и для успеха последней необходимо позаботиться, чтобы работа в черновых бороздах блюминга велась бы энергичнее и температура квадратной заготовки была бы возможно выше.

**Прокатка уголков.** На фиг. 111 дан пример калэбровки уголков  $75 \times 75 \times 10$ . Обратим внимание на конструкцию валов для прокатки углового железа. Конструкция валов (фиг. 112А) допускает возможность катать близкие сорта углового железа в одних и тех же валах, меняя верхние валы. Это практично, ибо верхние валы вырабатываются скорее нижних.



Фиг. 111.

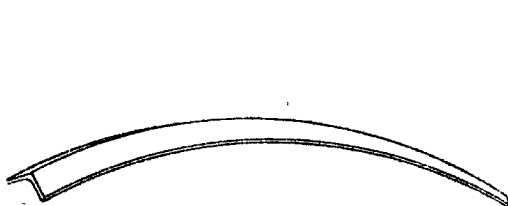
Недостатками готового уголкового железа являются:

1) Закругленный край, или зарезина. Недостаток меняется с температурой: холодная прокатка — зарезина, горячая — недостака.

Если уголок утянутый — прибавляют железа в предыдущей борозде; не помогает — катают через борозду, увеличивая этим путем уширение (энергичная работа увеличивает уширение).

Если получилась зарезина, ее уничтожают, подтачивая угол  $\alpha$  (фиг. 113); среднее волокно вытягивается и утягивает края.

Утягивание вершины уголка (фиг. 114) означает, что крылья „работаются“ слишком сильно, а вершина слабо. Надо или ослабить работу крыльев, или



Фиг. 115.



Фиг. 116.

дать железа в вершине угла и тем восстановить нарушенное равновесие в вытягивании частей профиля.

2) Остывание уголков сопровождается выгибом полосы и разворачиванием угла (фиг. 115). Надо полосу выгибать обратно, а уголку давать угол  $> 90^\circ$ . Выгибая уголок, заостряют этот угол. Уголок надо катать в  $95^\circ$  и  $100^\circ$ , в зависимости от длины полок.

При прокатке шпангаутного железа (фиг. 116), при неравномерной работе крыльев, одно крыло может оказаться волнистым. Надо давать одинаковое обжатие.

## ГЛАВА VII.

### Прокатка и калибровка балок.

**Прокатка балок.** Для объяснения сущности явлений, происходящих при прокатке, мы приравнивали прокатный стан к гидравлическому прессу с бойками цилиндрической формы. Мы видели, что при прессовании в бойках цилиндрической формы в прессуемой полосе возникает выталкивающая сила

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

Эта сила вытягивает прессуемый материал из бойков, а при прокатке вытягивает полосу из валов, т. е. она направлена в сторону, противоположную прокатке.

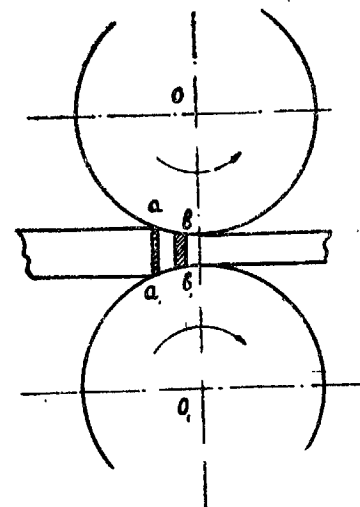
Если полоса неподвижна, а прокатка ведется накатывающимся на нее валком, что в сущности не меняет дела, то эта сила не маскируется, а выступает очень рельефно. Например, возьмем полосу теста. Припылим доску и скалку мукой и начнем раскатывать тесто. Мы увидим, что полоска теста накатывающимся валком скалки начнет двигаться от него, так сказать, начнет

пятиться от скалки. Это попятное движение полосы из-под скалки есть результат выталкивающей силы  $R$ .

То, что делается с полоской теста у кухарки на доске, то же делается и в прокатном стане. Полоса движется валами в сторону их движения, полоса прокатывается между вальками. Это движение видимое. Но, кроме этого видимого движения, при прокатке наблюдается еще попятное движение полосы из валов, которое замедляет движение полосы со стороны задачи.

Раз прокатываемая полоса имеет попятное движение, направленное в сторону, противоположную движению поверхности валов, то ясно, что о прилипании полосы к поверхности валов не может быть и речи. И действительно, раскатать тесто можно только при обильном припыле его мукой. Как только тесто начнет прилипать к скалке — раскатка его делается невозможной<sup>1)</sup>.

Что полоса не прилипает к валам, ясно из следующего чертежа (фиг. 117): столбик материала  $aa_1$  подвигается в положении  $bb_1$ , при этом высота его делается меньше, а следовательно, толщина его должна увеличиваться по мере продвижения его вперед. Увеличение же толщины столбика возможно только при том условии, что между полосой и поверхностью валков будет происходить скольжение. Если не допустить скольжения в части, удаленной от линии  $oo_1$ , то нельзя себе представить механизма прокатки.



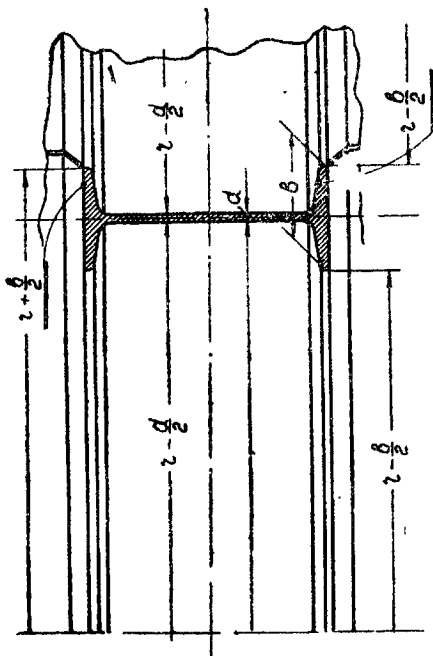
Фиг. 117.

Итак, поведение полосы железа, прокатываемой в цилиндрических валках, таково: полоса прилипает к валам узкой лентой около линии центров  $oo_1$ ; в остальной своей части полоса, не прилипая к поверхности валов, пятится из них и, пятясь, вытягивается под влиянием вытягивающей силы  $R$ .

Обратимся теперь к прокатке двутавровой балки и рассмотрим ее движение в ручье. Шейка балки прокатывается между двумя цилиндрическими поверхностями с радиусом  $r$  (фиг. 118). Край фланца, вырезанного в нижнем валу, катается поверхностью, имеющей радиус гораздо меньший, а именно равен  $(r - \frac{b}{2})$ . Наконец, верхний фланец балки катается с одной стороны поверхностью радиуса  $(r + \frac{b}{2})$ , а с другой стороны  $(r - \frac{r}{2})$ .

<sup>1)</sup> Это не совсем верно. Ведь выталкивающая сила не уничтожилась бы и даже не уменьшилась бы от прилипания. Невозможна прокатка по другой причине. Выходящее тесто наворачивается на скалку и получается то, что в прокатке называется „коковым“ вала. Н. С.

Угловая скорость всех точек валов одинакова, но линейная скорость прокатки зависит от линейной величины радиусов. Таким образом, если линейная скорость на начальной окружности валков будет 100%, то скорость в глубине нижнего фланца будет менее 100%, скорость гребня будет более 100%, а скорость фланца, вырезанного в верхнем валу, будет менее 100%. Например, для балки высотой в 240 мм, при диаметре валков в 800 мм, получим нижеследующие скорости движения:



Фиг. 118.

скорость по начальной окружности валиков при радиусе 400 мм приравнена 100%,  
 скорость поверхностей, катающих шейку, при радиусе 395,6 мм равна 99%,  
 скорость края нижнего фланца при радиусе

$$\left(400 - \frac{102}{2}\right) = 349 \text{ мм}$$

равна 87%;

скорость гребня верхнего фланца при радиусе

$$\left(400 + \frac{102}{2}\right) = 451 \text{ мм}$$

равна 113%;

скорость части калибра верхнего фланца, вырезанного в верхнем валу, при радиусе

$$\left(400 - \frac{102}{2}\right) = 349 \text{ мм равна } 87\%.$$

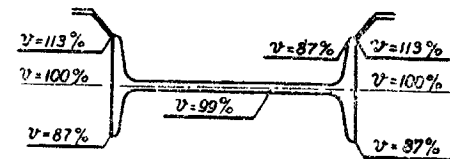
Итак, один и тот же профиль двутавровой балки катается в ручье, части которого идут со скоростями (фиг. 119): шейка — 99%, нижний фланец — 87%, части верхнего фланца с одной стороны — 87%, а с другой — 113%.

Очевидно, что при таких громадных разнице в скоростях различных частей калибра нельзя ни на секунду допустить предположения, что поверхность прокатываемой балки прилипает к поверхности валов. Если бы это случилось, то балка была бы в тот же миг разорвана на части, следовательно, остается допустить, что балка прилипает к валам только своей шейкой и движется по калибру со скоростью 99%; что же касается фланцев, то нижний фланец балки в „закрытой“ части калибра идет по калибру со скоростью балки, т. е. 99%, в то время когда части калибра

идут со скоростями от 99% до 87%, т. е. фланец идет скорее своего калибра и, так сказать, проволочивается балкой через свой калибр.

Верхний фланец балки идет со скоростью всей балки, т. е. 99%, по калибру, гребень которого идет со скоростью от 99% до 113%, а часть, принадлежащая верхнему валу, со скоростью от 99% до 87%, т. е. „открытый“ фланец попадает между двумя поверхностями, погоняющими друг друга и движущимися относительно друг друга со скоростью до 26% (фиг. 119).

Поместившись мысленно на фланец балки в открытой части калибра, мы летели бы в этот калибр со скоростью 99%; в калибре мы бы встретили поверхность гребня нижнего вала, движущуюся со скоростью 113%, т. е. на 14% скорее нас, и поверхность верхнего вала, движущуюся со скоростью 87%, т. е. тише нас на 12%; в результате нам казалось бы, что мы попали между двух поверхностей прокатных валов, движущихся навстречу друг другу со скоростью  $14 + 12 = 26\%$ . Мы увидим далее, что эти две поверхности представляют две щеки клина, что, двигаясь друг к другу навстречу, эти две щеки клина зажимают между собой открытый фланец и делают его более тонким.



Фиг. 119.

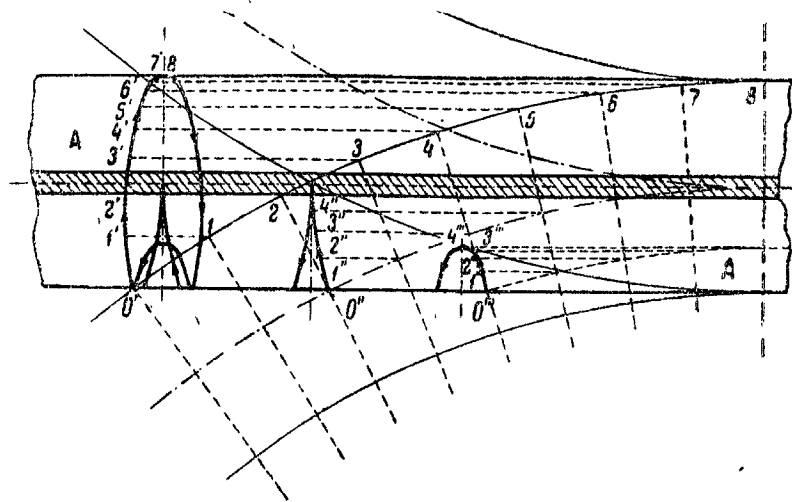
Теперь же обратим внимание на другую сторону дела. Движение фланцев балки относительно поверхности валов не подлежит никакому сомнению: поверхности валов скользят по поверхности балки, а потому всякая неровность ручья должна оставлять свой след на поверхности балки и давать царапины или штрихи, свидетельствующие о движении части калибра по балке. Если рассуждения наши верны, то мы должны математическим путем определить вид этих штрихов, и форма вычерченных этим путем штрихов должна совпасть с действительно получающимися на практике штрихами.

Представим себе (фиг. 120), что балка AA прокатывается между парой валов и идет со скоростью средней окружности валов. Возьмем на окружности края гребня точку 0'. В элемент времени она пройдет из точки 0' в точку 1. Если бы балка была неподвижна, то точка 0' начертила бы на балке дугу 0'—1 и точка 0' приняла бы положение точки 1. Но так как балка движется со скоростью средней окружности, то путь точки 0' по балке будет иной, именно: точка 0' окажется от точки 1 влево на элемент 1—1', равный скорости балки в тот же элемент времени или равный дуге средней окружности, соответственно дуге 0'—1.

Когда точка 0' перейдет по окружности валов в точку 2, по балке она поднимется до точки 2'. Затем она пойдет в точку 3', 4', 5', 6', 7' и 8'. Перейдя за линию центров валов на другую сторону чертежа, точка 0' очертит на балке другую половину кривой.



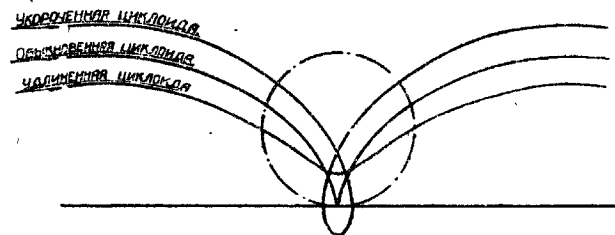
Если мы возьмем точку  $0''$  на средней окружности валов, то получим форму кривой, описанной ею на балке в виде кривой  $0'', 1'', 2'', 3'', 4''$  с соответственной ветвью по другую сторону линии центров; взяв, наконец, точку  $0'''$  на окружности, близкой ко дну



Фиг. 120.

калибра, мы получим форму цапаины  $0''', 1''', 2''', 3''', 4'''$  с соответственной ветвью по другую сторону чертежа.

Эти кривые суть части циклоид (фиг. 121); обыкновенной— $0''1''2''3''4''$ , удлиненной  $0'''1'''2'''3'''4'''$  и укороченной  $0'1'2'3'4'5'6'7'8'$ .



Фиг. 121.

На чертеже (фиг. 120) стрелками показано направление, в коем чертятся эти штрихи. Первые две кривые направлены назад, последняя — вперед.

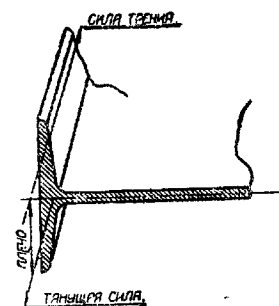
Если мы возьмем балки, рельсы или другие какие-либо профиля фасонного железа, то на них мы всегда найдем штрихи вышеуказанной формы, откуда следует, что балка действительно движется в валах так, как мы это указали выше.

Итак, обработка металла во фланцах балки совершенно различна.

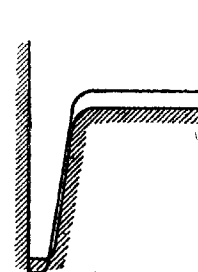
В закрытом фланце балка идет со скоростью, близкой к 100%; дно ручья — со скоростью 87'. Происходит, значит, проволачивание фланца как бы через неподвижное очко со скоростью в 12% так же, как в волочильном стане: шейка балки тянет, волочит фланец через закрытый калибр. При этом тянущая сила приложена не на одной линии с сопротивлением волочения. Получается пара сил, плечо которой равно высоте фланца. Эта пара сил стремится осадить, уменьшить высоту фланца (фиг. 122).

Зададимся вопросом: можно ли пускать в закрытую часть ручья очень толстый фланец? Очевидно, нет. Во-первых, усиленное волочение через закрытый ручей очень быстро его разотрет — валы быстро изработаются; во-вторых, при усиленном волочении тянущая сила должна увеличиться, фланец начнет утягиваться, и материал его, под влиянием плеча пары сил, станет усиленно переходить из фланца в шейку балки, т. е. произойдет явление, всеми силами избегаемое в калибровке. Все усилия калибровщиков всегда направлены на питание фланцев материалом шейки, а не обратно.

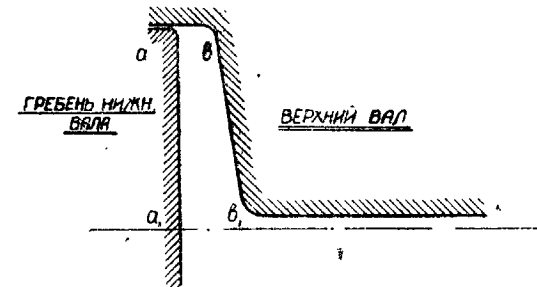
Поэтому в закрытом калибре утонять фланец считается непрактичным; чтобы уменьшить площадь сечения фланца в закрытом



Фиг. 122.



Фиг. 123.



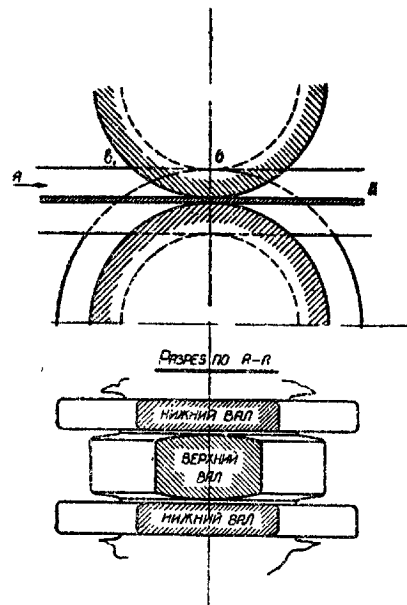
Фиг. 124.

калибре, калибровщики уменьшают высоту фланца. Прилагаемый рисунок изображает фланец, „осаживаемый“ в закрытом ручье в высоту (фиг. 123).

Прокатка фланца в открытой части калибра идет совершенно по другой схеме. Прежде всего обратим внимание на то, что калибр состоит из двух поверхностей: 1) почти плоской поверхности нижнего вала  $aa_1$  (фиг. 124) и 2) конической поверхности  $bb_1$  верхнего вала. Прокатываемая балка, так сказать, прорезывает своими фланцами прокатные валы. Как видно из приложенного рисунка (фиг. 125), край верхнего фланца встречает валы не в точке  $b$ , а в точке  $b_1$ , поэтому для понимания механизма прокатки фланца балки чрезвычайно поучительно сделать сечения верхнего вала, очерченной кривыми линиями. В характере этих кривых не может

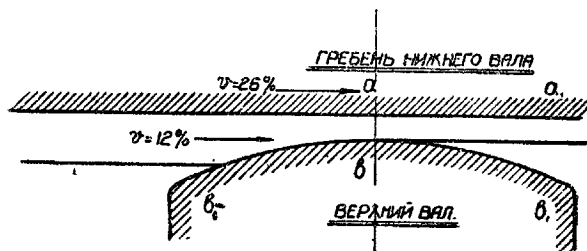
быть сомнений; кривые эти — гиперболы, ибо конус, пересеченный плоскостью, параллельной оси, дает гиперболу.

Отсюда мы видим, что фланец, встречая вал, попадает в пространство, ограниченное с одной стороны прямой (сечение гребня),

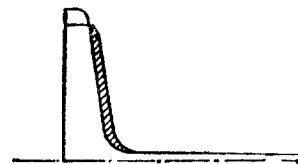


Фиг. 125.

с другой стороны — ветвью гиперболы (сечение конуса). Попадая в эту теснину, фланец движется в ней со скоростью движения балки, т. е. 99%; гребень идет со скоростью 113% и часть верхнего вала со скоростью 87%; положив же скорость верхнего вала равной нулю, получим, что гребень идет со скоростью 26%, а балка со скоростью 120%, как указано на фиг. 126. Ширина той щели, через которую протаскивается фланец, равна при входе  $a_1 b_1$ , т. е. толщине фланца под корнем у шейки балки, в самом же тесном месте она равна  $ab$ , т. е. толщине фланца от края. Итак, фланец поступает в разверстую часть этого суживающегося клина. Пока клин достаточно широк, фланец идет свободно; но клин делается все уже и уже. Тогда быстро движущаяся поверхность гребня нижнего вала подхватывает фланец балки и, скользя по нем, прожимает его через узкую часть клина. Утоненный фланец, минуя сечение  $ab$ , входит в уширяющуюся часть калибра и покидает его.



Фиг. 126.



Фиг. 127.

Итак, работа открытой части калибра заключается в прожимании толстого фланца через клиновидную щель, одна сторона которой — быстро движущийся гребень нижнего вала, другая — конусная поверхность калибра, принадлежащая верхнему валу.

Этим свойством работы открытой части калибра калибровщики пользуются для утонения фланцев. В открытую часть калибра

задают обыкновенно фланец потолще и повышают за счет „уширения“ при прокатке „боковым давлением“ (фиг. 127).

Очевидно, чем больше конусность прокатываемого фланца и чем меньше диаметр прокатных валков, тем уклон стенок клина, через который прожимается фланец в открытой части ручья, больше.

Для отделочного ручья балок № 24 этот уклон в общем равен  $1/27$  (семь миллиметров на 186 мм длины клина).

Теория выдавливания фланцев балок. Чтобы фланец выдавливался, сила  $P$  должна быть больше  $fQ + fS$  (фиг. 128), но

$$P = Q \operatorname{tg} \alpha; Q = P : \operatorname{tg} \alpha; S = \sqrt{P^2 + Q^2} = P \sqrt{1 + \frac{1}{\operatorname{tg}^2 \alpha}}$$

$$fQ = \frac{fP}{\operatorname{tg} \alpha}; fS = fP \sqrt{1 + \frac{1}{\operatorname{tg}^2 \alpha}}$$

При небольших углах можно принять

$$Q = S \text{ и } fQ + fS = 2fQ = 2f \frac{P}{\operatorname{tg} \alpha}$$

Для  $f$  — коэффициента трения металла о валки — можно принять

$$\begin{aligned} \text{при } 1400^\circ - f &= 0,4 \\ \text{„ } 700^\circ - f &= 0,3. \end{aligned}$$

Тогда:

$$P \geq 2fQ = 2f \frac{P}{\operatorname{tg} \alpha}$$

или

$$\begin{aligned} \text{при } 1400^\circ - \alpha &> 39^\circ \\ \text{„ } 700^\circ - \alpha &> 31^\circ. \end{aligned}$$

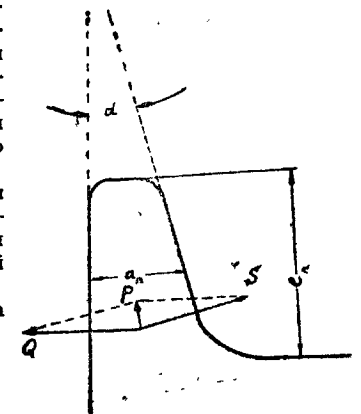
В меньшие углы железо не полезет.

Итак, сила  $P$  возбуждает силы  $Q$  и  $S$ , вызывающие трение. При небольших углах  $\alpha$  растет  $Q$  и  $S$ ; при  $\alpha = 0$ ,  $Q$  и  $S$  делаются равными бесконечности, и выполнение выполюнению фланцев безмерно увеличивается. В этих случаях фланцы выполняются перемещением тестообразного материала железа при высокой температуре под гидростатическим давлением. Наилучше перемещается фосфористое железо, хуже чистое. С этой тенденцией берется утягивание железа, максимальное для чистого железа и минимальное для фосфористого.

Таким образом, калибровка балок пользуется двумя принципами: пока железо тестообразно в первых двух — трех ручьях, запасают материал для фланцев, в остальных ручьях тянут шейку, с ней утягивают и фланцы.

Метод калибровки: уменьшать толщину фланца сообразно его высоте, т. е. (фиг. 128)

$$\frac{a_{n-1}}{e_{n-1}} = \frac{a_n}{e_n} = \text{const.}$$

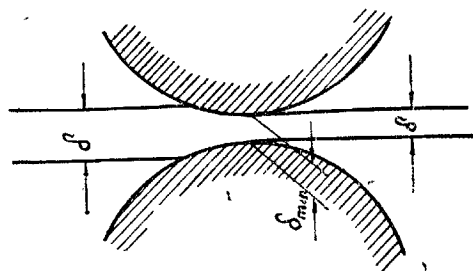


Фиг. 128.

В последнем калибре вытяжка фланцев более вытяжки шейки, в результате чего для выполнения необходимо брать обжатие:

$$\begin{aligned} \text{для фланца } \delta &= 1,15 \\ \text{„ шейки } \delta &= 1,07. \end{aligned}$$

**Калибровка балок по способу Нижне-Салдинского завода.** Итак, мы видели, что обработка фланцев балки в открытой и закрытой части ручьев очень различны, а потому, если необходимо спроектировать калибровку данного профиля балок, то поступают так:



Фиг. 129.

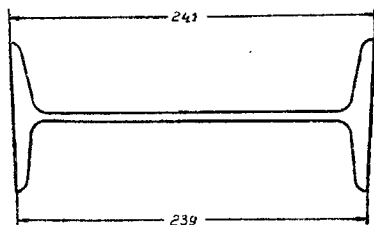
**А. Отделочный ручей.**

1) Вычерчивают по холодному профилю горячий профиль, принимая в расчет расширение железа от теплоты. Обычно для этого достаточно увеличить все размеры профиля на 1% (до 1,5%).

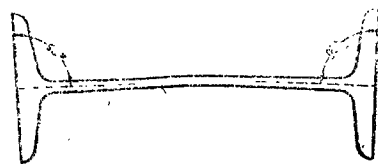
2) Проволакивание балки через закрытые части ручья задерживает движение ее. Это тормозящее усилие фланцев преодолевается повышенным, так сказать, гидростатическим давлением материала в шейке, в избытке перемещаемого в нее поверхностями валов во время приостановки ее в движении (фиг. 129). Результатом этого является „накат“ шейки: шейка выходит из валов гораздо толще, чем расстояние между валами, т. е.  $\delta > \delta_{min}$ . А потому, для того чтобы получить толщину шейки в меру, ее надо проектировать тоньше размера  $\delta$  на величину наката.



Фиг. 130.



Фиг. 131.



Фиг. 132.

Величина наката определена для балок в Нижне-Салдинском заводе в 0,75 мм.

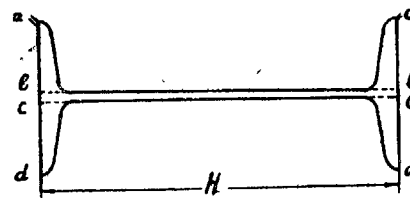
3) Ручьи при прокатке истираются. Обычно для фланцев дают допуск в толщине  $\pm 1/2$  мм<sup>1)</sup>. Очевидно, что проектировать валы нужно с более тонкими фланцами.

4) То же истирание увеличивает высоту балок. При каждой поправке валов высота балки делается все больше и больше, ибо конические поверхности легко поправляются углублением приемки (фиг. 130) внутрь вала. Вертикальные же врезы в валы не могут

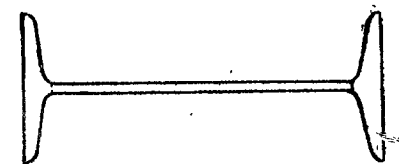
быть поправлены иначе, чем увеличением высоты балки. Поэтому если хотят катать прямые балки, то валы проектируют на низший допускаемый предел высоты балки: допуск в высоте балки делается обыкновенно  $\pm 1$  мм, следовательно, проектируют балку не 240 мм, а 239 мм в расчете на дальнейшую поправку до 241 мм.

В последнее время прямых балок не катают, а катают косые балки, давая им выпускной угол из отделочного ручья. Такая косая балка удовлетворяет требованиям контракта, ибо имеет узаконенный допуск (фиг. 131) в вышину. Поправка валов при такой форме ручья идет прекрасно, кроме того, такая балка хорошо выпускается валами, ибо ручей разверзается, что значительно облегчает работу проводников (см. ниже).

Было бы правильнее катать балки прямыми, но изгибать шейку и затем пропускать их через правильный стан. Такие балки легко



Фиг. 133.



Фиг. 134.

сделать совершенно прямыми, но это считают обыкновенно слишком хлопотливым (фиг. 132). Общепринятый уклон оснований косых балок равен 1% ширины подошвы.

Приняв в расчет все изложенные четыре пункта, вычерчивают отделочный калибр или ручей. Он будет состоять из следующих трех частей (фиг. 133):

- 1) шейки, которая калибруется как полоса железа, ширина которой равна высоте балки  $H$ , а толщина — толщине шейки  $bc$ ;
- 2) двух открытых фланцев  $ab$ , и
- 3) двух закрытых фланцев  $cd$ .

Весьма часто калибровщики делят балку на три части иначе, а именно: на два фланца и середину между ними (фиг. 134), но такое деление не заслуживает никакого подражания и не дает ясности мыслям калибровщика.

Основной тезис калибровки балок гласит следующее:

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

От этого принципа отступают только в сторону увеличения обработки фланцев за счет шейки, т. е. шейку работают слабее фланцев. Это делают, чтобы обеспечить наполнение фланцев и преодолеть трение, препятствующее этому наполнению.

Что касается коэффициентов обжатия, то они постепенно возрастают от 1,1 для отделочного ручья до 1,4 для чернового, при-

<sup>1)</sup> Таковы пределы для рельсов. Для балок они обыкновенно больше, ибо потребитель на этот порок внимания не обращает.

чем при проектировании чернового ручья прежде всего считаются с углом захвата.

Самое проектирование идет по схеме таблицы 17 балок № 24 Нижне-Салдинского завода (фиг. 135).

В первой строке пишется номер калибра: 1 или отделочный.

Площадь фланца (все четыре фланца имеют одну площадь):

$ab$  — высота открытого фланца — 46,65 мм,

$bc$  — толщина шейки — 8,7 мм,

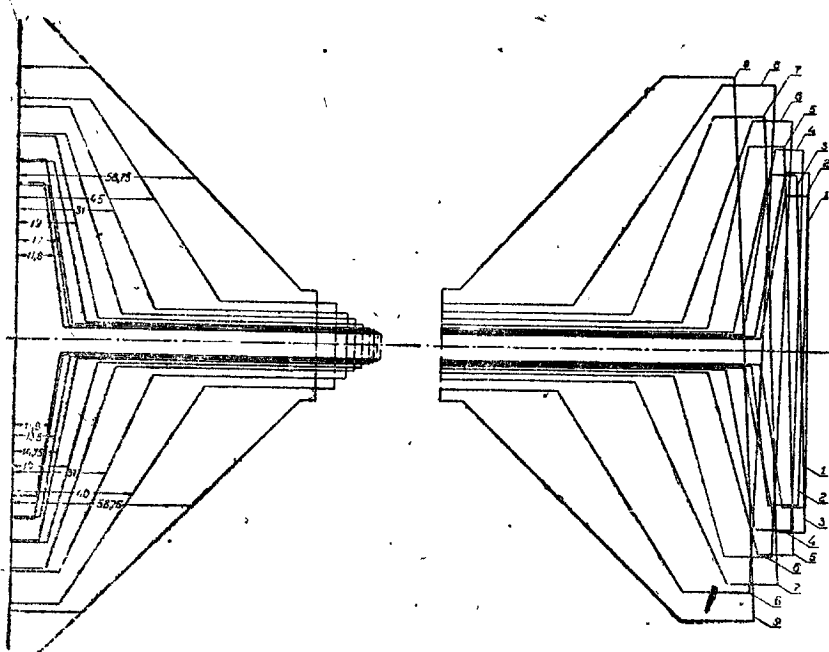
$cd$  — высота закрытого фланца — 46,65 мм.

$t$  — толщина фланца посередине.

Фланец — трапеция; толщина фланца посередине, умноженная на высоту, дает площадь фланца.

$H$  — высота балки и ширина шейки — 241 мм.

Произведение из  $H$  на  $bc$  есть площадь шейки.



Фиг. 135.

Сумма четырех площадей фланцев и площади шейки равна площади всего калибра.

Написав первую строку, мы начинаем проектировать предотделочный калибр II.

Вопрос 1-й. Коэффициент вытяжки для фланцев и шейки. Для фланцев берем — 1,12, для шейки — 1,05. Практика показала, что при этих коэффициентах валы служат долго и фланцы хорошо выполняются. Вычисляем площади фланцев: получим 616 мм<sup>2</sup>; для шейки — 2192 мм<sup>2</sup>, для всей балки — 4656 мм<sup>2</sup>.

Вопрос 2-й. Ширина шейки  $H$ . Так как шейка рассматривается нами (в Нижне-Салдинском заводе) как полоса, то и уширение

шейке дается как полосе, т. е. ширина шейки делается 241, 239, 237, 234, 230 мм и т. д., т. е. она уширяется на 2, 3, 4, 5, 6, 7, и 12 мм; этим уширением пользуются для придания калибру возможного выпуска.

Очевидно, что обращая балку каждый раз на 180°, мы тем самым ставим „выпуск“ в строгую зависимость от уширения шейки балки, и выпуск в мм для каждого гребня равен уширению шейки. Поэтому, делая небольшое уширение, мы тем самым стесняем выпуск (фиг. 136).

Между тем стеснять выпуск невыгодно, ибо: а) поправка валов затрудняется, б) служба проводников делается более ответственной и в) растягивание шейки в стороны сокращает вытяжку шейки в длину и, следовательно, уменьшает „утягивание“ фланцев. Поэтому систему маленького уширения и малого выпуска бросили. Хорошие калибровщики балок считают нормой давать уширение в каждой борозде 8—10 мм, и их примеру следует подражать.

Сделав это замечание, следуем таблице № 14.

Для ручья II высота балки дана 239 мм, а следовательно, толщина  $bc = 9,25$  мм.

Вопрос 3-й. Высота фланца  $ab$  для калибра II. Фланец  $ab$  в отделочном ручье — фланец открытый. Значит, фланец  $ab$  ручья II поступает в открытый ручей. В открытом ручье происходит уменьшение толщины ручья и некоторое увеличение длины за счет уширения, следовательно, фланец  $ab$  ручья II может быть немного ниже фланца  $ab$  ручья. Высота  $ab$  в первом случае — 46,65 мм, следовательно во II его можно принять ровно 46 мм.

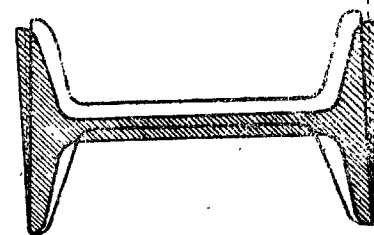
Вопрос 4-й. Если высота  $ab = 46$  мм, то какова толщина? Толщина получается делением:

$$616 : 46 = 13,5 \text{ мм.}$$

Вопрос 5-й. Какова высота фланца  $cd$ ? Фланец  $cd$  в отделочном ручье закрытый: что делается с фланцем, поступившем в закрытый ручей? Может ли он утониться? Нет; он может быть только „осажен“, следовательно, высота его должна быть более высоты фланца  $cd$  в отделочном калибре, т. е. должна быть более 46,65 мм. Насколько более? Здесь мы встречаем замечательный эмпиризм, для всех балок и всех калибров высота осадки принимается в 7 мм. Почему? Мы не знаем, но так делают калибровщики, друг друга не выдавшие.

Принимаем высоту фланца  $cd$

$$46,65 + 7 = 54 \text{ мм,}$$



Фиг. 136.

ТАБЛИЦА 17.  
Балки № 24 нормального сортамента (фиг. 135).

Номер калибра	Площадь фланца в мм <sup>2</sup> и коэф. уменьшения площади	Высота фланца ab в мм	Толщина шейки cd в мм и коэф. уменьшения площади	Высота фланца cd в мм	Средняя толщина фланца t в мм		Высота калибра H в мм	Площадь шейки в мм <sup>2</sup>	Площадь всего калибра в мм <sup>2</sup> и коэф. умень- шения площади
					Откр.	Закр.			
I отделочный	550 1,12	46,65	8,70 1,06	46,65	11,8		241	2097 1,05	4297 1,08
II	616 1,17	46	9,25 1,11	54	13,5	11,5	239	2192 1,08	4656 1,13
III	721 1,22	53	10,25 1,15	53	13,5	13,5	237	2363 1,15	5252 1,17
IV	880 1,27	52	11,75 1,19	60	17	14,75	234	2714 1,17	6234 1,24
V	1118 1,32	59	14,00 1,21	59	19		230	3164 1,18	7636 1,26
VI	1475 1,37	58	17,00 1,24	66	25,5	22,25	225	3748 1,20	9648 1,31
VII	2022 1,42	65	21,00 1,29	65	31		219	4494 1,23	12582 1,35
VIII	2871 1,45	64	27,00 1,30	72	45	40	212	5521 1,20	17005 1,37
IX	4163	71	35,00	74	58,75		200	6650	23302

$h = 108$  (для всех калибров величина постоянная).

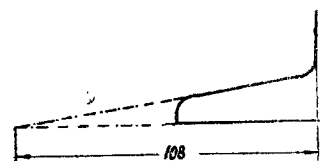
а следовательно, его толщина будет

$$616:54 = 11,5 \text{ мм},$$

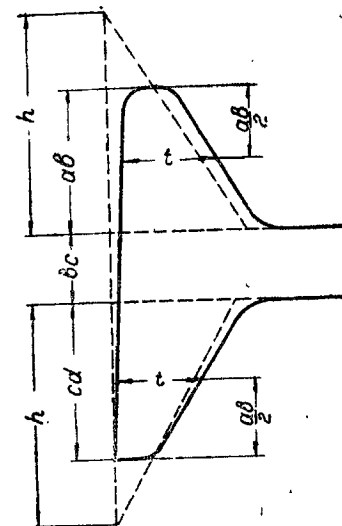
т.е. тоньше отделочного фланца  $cd$ .

Таким образом, мы получили все размеры II калибра. Мы можем его построить, если примем эмпирическое правило, что  $h$  для всех калибров балки № 24 есть величина постоянная, как это сказано в таблице № 17, и равна 108 мм (фиг. 137). Величина эта в 108 мм определялась графически, когда мы взяли отделочную проемку и определили точку пересечения линий, ограничивающих фланец балки № 24. Эта точка встречи находится в 108 мм от шейки балки № 24.

Затем им надо будет дать выпускные углы, как это показано на фиг. 138.



Фиг. 137.



Фиг. 138.

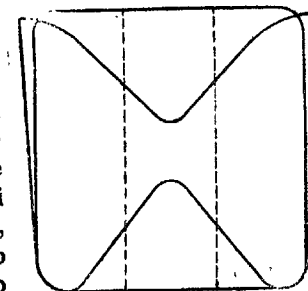
Это видоизменение калибров основано на том, что все трапеции, имеющие равные основания и высоты, равны вне зависимости от уклона их стенок. Балка № 24 выкаталась по этим калибрам прекрасно.

В. Разрезающие ручьи. В девятый, считая от отделочного, ручей поступает болванка из обжимного стана, имеющая вид квадрата или прямоугольника, несколько уже ручья. В калибровке Нижне-Салдинского завода в девятый ручей поступает прямоугольник  $185 \times 180$  мм, прорезываемый настолько глубоко, что шейка балки получает толщину всего 35 мм<sup>1)</sup> (фиг. 139).

Посмотрим, что делается с металлом в этом случае. Разделим прямоугольную болванку на три равные части — среднюю и две боковые; соответственно на три части разделим и калибр. Мы увидим, что

<sup>1)</sup> Угол захвата в этом случае

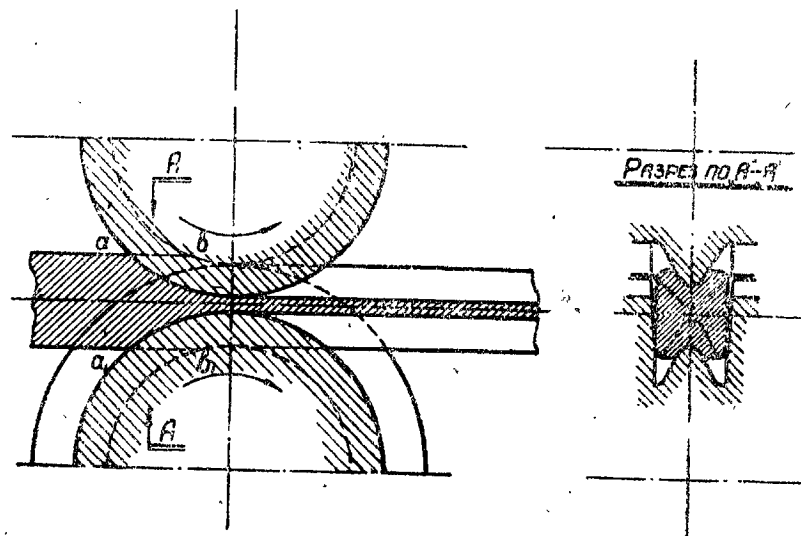
$$\frac{185 - 35}{2} = \frac{765}{2} (1 - \cos \alpha); \alpha = 36^\circ 25'.$$



Фиг. 139.

обжатие средней трети будет  $\kappa=2,6$ , тогда как обжатие крайних частей будет  $\kappa=1,15$ , следовательно, если бы болванка при прокатке расслоилась на три части, то средняя часть вытянулась бы в 2,6 раза, а боковые части в 1,15 раза.

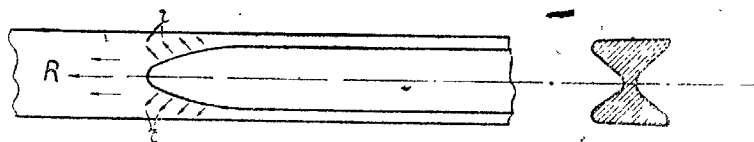
Болванка, однако, не расслоилась, что может быть объяснено с точки зрения истечения следующим образом. Болванка встречается



Фиг. 140.

с разрезающим ее гребнем в точках  $aa_1$  (фиг. 140); фланцы встречаются с дном калибра значительно дальше, в точках  $bb_1$ . Таким образом, в то время когда балка движется от  $aa_1$  до  $bb_1$ , центральные ее части подвергаются давлению, фланцы же никакому давлению не подвергаются.

Против центральных частей балки, в точках  $aa_1$ , металл придет в текучее состояние. Первый импульс его будет течь назад по



Фиг. 141.

направлению силы  $R$  (фиг. 141), но так как фланцы такого импульса не имеют, а между ними и металлом шейки существует сцепление, то металлу придется течь во фланцы по направлению сил  $R$  и уширяться вместо того, чтобы удлиняться; притекающий во фланцы металл поднимет в них давление и заставит их вытягиваться равномерно с шейкой.

Если мы сделаем сечение валов по линии  $AA$  (фиг. 140), то нам станет вполне понятно происходящее при этом истечение.

Когда профиль вышел из валов, то нам весьма не трудно восстановить истечение металла из шейки во фланцы.

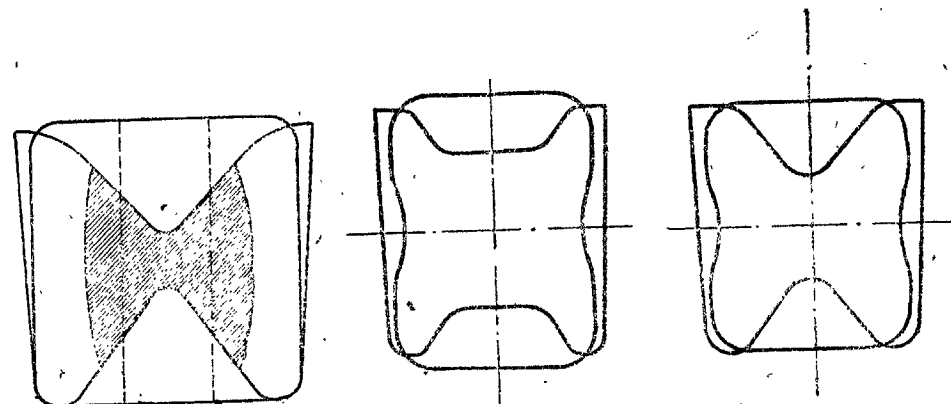
Возьмем для примера описываемый случай:

$$\text{заготовка} - 185 \times 180 = 33\,300 \text{ мм}^2$$

$$\text{IX калибр} - 23\,302 \text{ мм}^2$$

$$\kappa = 1,43.$$

Площадь средней трети заготовки  $11\,100 \text{ мм}^2$  займет в калибре площадь  $11100:1,43 = 7762 \text{ мм}^2$ . Заштриховав ее приблизительно



Фиг. 142.

Фиг. 143.

Фиг. 144.

(фиг. 142), мы можем констатировать весьма сильное уширение металла средней части и истечение его во фланцы.

Из опытов раздавливания цилиндров мы помним, что сила раздавливания зависит от диаметра цилиндрика, чем больше диаметр цилиндрика, тем больше путь истечения, тем больше скорость истечения, тем больше потребное давление. Отсюда ясно, что истечение во фланцы будет тем полнее, чем короче путь истечения, т. е. чем острее разрезающее ребро. Напротив того, чем тупее оно, тем длиннее путь уширения и тем хуже наполняются фланцы в разрезаемом калибре.

Инженер Пуппе приводит два примера калибровки балок: более старую систему, с тупым разрезающим ручьем, и новую, с острым разрезающим гребнем. Характерно для тупого разрезающего ручья потеря высоты болванки, тогда как при остром разрезывании высота балки равна высоте заготовки. На фиг. 143 и 144 мы приводим изображение вырезков, которое подтверждает правильность нашего вывода.

Наполнение фланцев в первом случае сопровождается значительным вытягиванием балки под весьма сильным давлением. Наполнение фланцев во втором случае произошло так легко, что балка вытянулась очень слабо.

Здесь уместно сообщить о некотором облегчении в работе разрезки болванки путем использования уширения. Теперь в режущем калибре принято выдавливать режущий гребень; это — тенденция неправильная. Выгоднее болванку разрезать и части ее раздвинуть, на что нужно, конечно, меньше силы. Такую тенденцию и встречаем мы в заводе Пин (*Peine*). Прямоугольник (фиг. 145) сперва режется только верхним валом, причем за счет врезавшегося гребня болванка уширилась. В следующем проходе болванка повернута на 180° и прорезана с другой стороны опять-таки за счет уширения.

В калибровке валов корытного железа Новороссийского завода в 1-м и 2-м черновых пропусках видно, что глубокий прорез болванки сделан за счет ее уширения. Общая вытяжка во втором пропуске равна всего 5%. Лучше всего этот метод применить к балкам следующим образом (фиг. 146). Одно из преимуществ такой калибровки — это совершенно точная центровка болванки и, следовательно, одинаковое наполнение всех фланцев.

Итак, мы видим, что частичное давление валов в разрезающих калибрах на среднюю часть болванки затрудняет непосред-



Фиг. 145.

Фиг. 146.

ственное истечение металла назад и заставляет его течь во фланцы. Но, кроме того, оно заставляет его течь и вперед, обуславливая некоторое раздутие шейки.

Действительно, наблюдения показывают, что, как бы крепко мы ни держали валы, шейка разрезающего калибра выходит всегда толще нормы, фланцы же, выполнившие калибр, бывают ниже чертежа.

Это — результат знакомого нам явления „опережения“ или „ускорения“, причем так как фланцы, не получая давления, не дают опережения, то „опережение“ в шейке оказывается ее утолщением и относительным уменьшением высоты фланцев.

Например, на вырезках балок Дружковского завода (см. ниже) видно, что фланец открытой части разрезающего ручья выполнен совершенно.

По чертежу он должен был бы быть  $0,981 \times 45 = 44,14$  мм, на деле он оказывается немного выше 40 мм, т. е. на два миллиметра фланец вышел ниже, хотя прокатан в меру. Это легко объяснить тем, что шейка получила „накат“. Об этом явлении мы уже говорили выше для отделочного ручья, но нигде оно не бывает так резко выражено, как в черновых разрезающих ручьях.

<sup>1)</sup> 2% скинуто на усадку при остывании.

**Калибровка балок, основанная на методе выдавливания или штампования.** Итак, в разобранным случае мы видели, что давление на шейку заставило металл из шейки потечь во фланцы, благодаря чему фланцы оказались хорошо выполненными. Это дало идею, что сущность работы прокатки и состоит в штамповании. Давя как можно сильнее на шейку, мы можем как будто бы выдавить фланцы. Но это совершенно неверно. Имеем, например, хорошо прокатанную балку № 24 с шейкой — 8,7 мм в отделочном ручье; высота фланцев будет, положим, идеальная — 46,65 мм.

Нажмем верхний вал и выкатаем балку с шейкой тоньше 8,7 мм, скажем, на 2 мм. Хорошо выполненные фланцы сейчас же „утянет“, и они окажутся плохо выполненными. И это понятно: надавив лишних 2 мм на шейку балки в отделочном ручье, мы вытягиваем ее на

$$\frac{2 \times 100}{8,7} = 23\%$$

излишних против нормы; вытягиваясь так сама, она „утягивает“ за собой и фланцы.

Таким образом, кладя в основу калибровки идею выдавить фланцы давлением на шейку, мы иногда получаем прекрасный результат; иногда же, напротив, чем сильнее будем давить на шейку, тем хуже выполнятся фланцы.

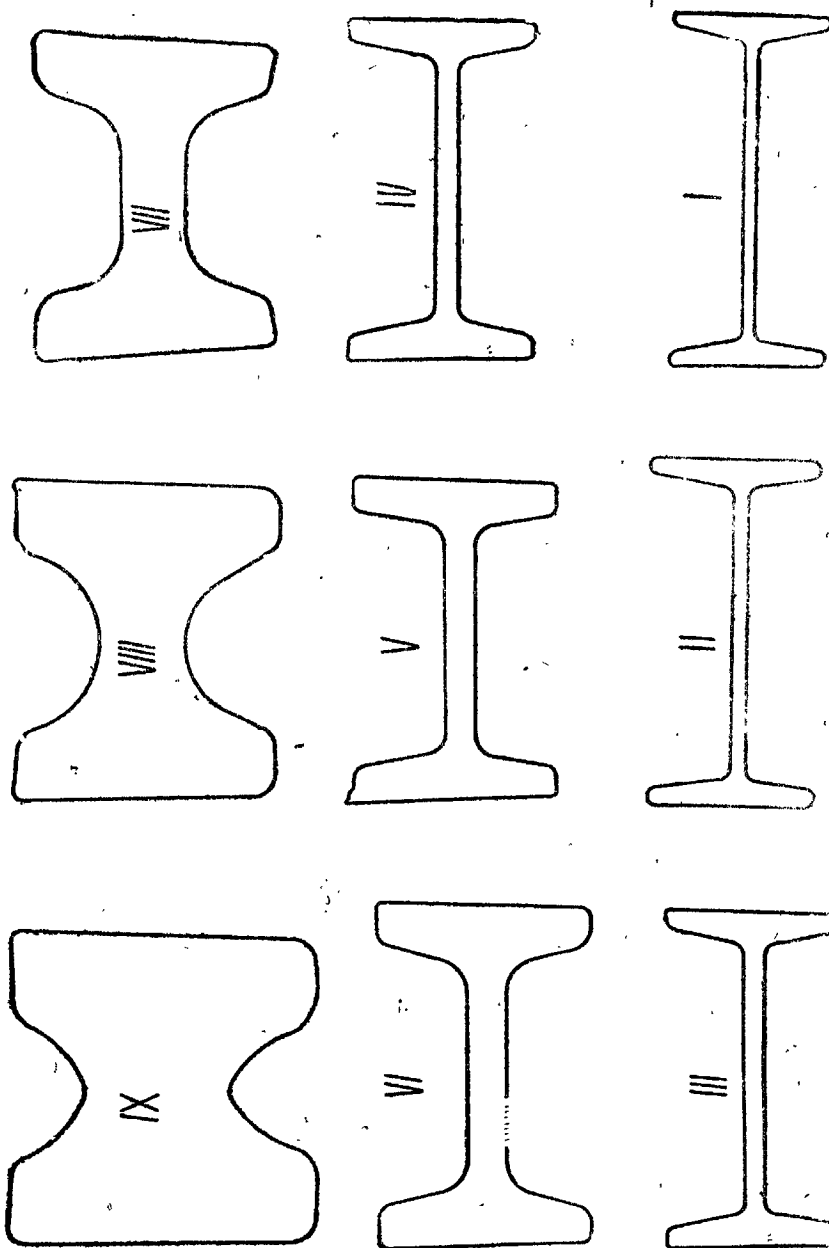
В нашем распоряжении имеется великолепный пример калибровки балок штампованием. Коллекция состоит из девяти вырезков последовательных ручьев балок № 18 Дружковского завода, указывающая с очевидной ясностью пределы, в коих можно пользоваться штампованием.

На фиг. 147 изображены вырезки, в таблицах 18 и 19 собраны размеры шаблонов и вырезок. Из них следует, что при прокатке балок возможно пять первых пропусков сделать без поворота балки, задавая фланец, катанный в закрытом ручье, в закрытый же ручей пять раз подряд. При этом толщина фланцев, равная в первом пропуске (9-й калибр, считая с отделочного) 54 мм, уменьшается в 5-м пропуске и калибре до 19,8 мм; высота же уменьшается только с 51,5 до 46 мм (на вырезках с 49 до 42 мм), что должно считать великолепным результатом. Однако, дальше этим путем калибровщик не пошел. Начиная с 5-го пропуска, он задает уже открытый ручей в закрытый и обратно по общепринятой системе. Очевидно, что, продолжая идти из открытого ручья в открытый же, он рисковал бы потерять высоту фланцев.

Подтверждением того, что штампование хуже обеспечивает высоту фланца, чем боковая прокатка, служат те же пять первых пропусков, в которых открытый ручей поступал в открытый пять раз подряд.

При первом пропуске (9 калибр) высота фланца была 41 мм, толщина 54,0 мм. После пяти последовательных пропусков в открытой части ручья высота увеличилась до 50 мм при толщине в 18,5 мм.

Итак, пятикратное штампование уменьшило высоту закрытого фланца с 49 до 42 мм, боковая прокатка увеличила с 41 до 49 мм.

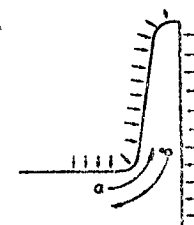


Фиг. 147.

При дальнейшей прокатке каждый пропуск через закрытую часть ручья резко уменьшает высоту фланца, что видно из нижеследующего.

После 5-го пропуска (V калибра) открытый фланец имел высоту 50 мм. Пройдя 6-й пропуск (IV калибр), в закрытой части калибра он укорачивается до 41 мм, т.е. сразу на 9 мм. Поступая затем в открытую часть калибра, он увеличивает свою высоту до 42 мм, чтобы затем в открытой части дойти до 36 мм. Очевидно, что метод штампования для тонких фланцев не годится. В два пропуска потеряно  $9 + 6 = 15$  мм высоты фланца, а толщина убавлена у них всего  $(18,5 - 16,2) + (12,8 - 11,4) = 3,7$  мм. Напротив того, в двух открытых калибрах высота увеличилась с  $(42 - 41) + (37 - 36) = 2$  мм, толщина уменьшилась  $(16,2 - 12,8) + (11,4 - 10,4) = 4,4$ .

Почему же штампование идет успешно в черновых бороздах и неуспешно в отделочных? Дени высказал предположение, что в данном случае играет роль уклон стенок, что выполнение штамповкой возможно в том случае, если уклон стенок фланцев не меньше  $31-39^\circ$ . Это соображение повторяется Гербурдом (Harboord'ом), но, по нашему мнению, лишено основания. Повседневная практика нас убеждает, что текучесть металла так велика, что выполняет не только фланцы, но



Фиг. 148.

и самые тонкие заусенки, не стесняясь никакими уклонами (см. стр. 97).

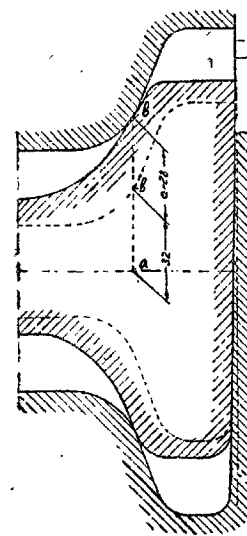
Непригодность метода штампования для тонких фланцев надо объяснить двумя причинами. На фланцы и шейку балки производится давление, металл делается текучим и он может потечь в двух направлениях (фиг. 148):

- a) металл шейки течет во фланец для наполнения его расхода на удлинение,
- b) металл фланца течет в шейку для пополнения ее расхода на удлинение.

От направления этого потока в ту или другую сторону и зависит высота фланцев.

Какие же причины направляют поток в ту или иную сторону?

Рассмотрим, что испытывает фланец при своем продвижении в валы. Так как стенка фланца калибра VII имеет уклон  $26^\circ$ , то при продвижении своем в валы фланец встретит широко разомкнутый зев борозды, развернувшейся как в вертикальном, так и в горизонтальном направлении (см. выше о свойствах борозд, ограниченных коническими поверхностями). Приняв толстый фланец в свой зев, борозда VII смыкает его как в вертикальном, так и горизонтальном направлении (фиг. 149), штампуя из толстого фланца калибра VIII более тонкий фланец калибра VII. Что делается в это время с шейкой? Если она энергично «работается», то в ней металл тоже подвержен давлению, и истечение металла в нее не будет



Фиг. 149.



ТАБЛИЦА 18.

Калибровка балки № 18. Размеры шаблонов.

№ калибра	Площадь фланцев в мм <sup>2</sup>	Коеф. уменьшения площади фланцев	Высота фланцев <i>ab</i> в мм	Толщина шейки <i>bc</i> в мм	Высота фланцев <i>cd</i> в мм	Средняя толщина на фланце в мм		Высота калибра <i>H</i> в мм	Шейка		Площадь калибра в мм <sup>2</sup>
						Закр.	Откр.		Площадь в мм <sup>2</sup>	Коеф. уменьшения площади	
I	37,55 × 10,4 = 390	1,05 1,13	37,55	6,9	37,55	10,4		180	1240	1,12	2800
II	36 × 11,4 = 410 42,8 × 10,3 = 441	1,34 1,25	36	7,8	42,80	11,4	10,3	178	1388	1,13	3090
III	43 × 12,8 = 550 41 × 13,5 = 553	1,24 1,31	43	9,0	41,00	12,8	13,5	175	1575	1,20	3781
IV	42 × 16,2 = 680 47,5 × 15,3 = 727	1,36 1,25	42	10,9	47,50	16,2	15,3	172	1875	1,37	4689
V	50 × 18,5 = 925 46 × 19,8 = 911	1,32 1,34	50	15,5	46,00	18,5	19,8	166	2573	1,48	6245
	48,5 × 25,2 = 1210 48,5 × 25,2 = 1210	1,34 1,38	48,5	23,0	48,50	25,2		166	3818	1,50	8658
	47 × 34,5 = 1620 48,5 × 34,5 = 1673	1,19 1,31	47	35,0	48,50	34,5		164	5740	1,45	12326
	44 × 43,9 = 1930 50 × 43,9 = 2190	1,20 1,27	44	51,5	50,00	43,9		162	8343	1,40	16583
	43 × 54 = 2320 51,5 × 54 = 2780	—	43	73,0	51,50	54,0		160	11680	—	21880

Примечание. Обозначения *ab*, *bc* и *cd* см. фиг. 133.

ТАБЛИЦА 19.

Калибровка балки № 18. Размеры вырезов на проката

№ калибра	Площадь фланцев в мм <sup>2</sup>	Коеф. уменьшения площади фланцев	Высота фланцев <i>ab</i> в мм	Толщина шейки <i>bc</i> в мм	Высота фланцев <i>cd</i> в мм	Средняя толщина на фланце в мм		Высота калибра <i>H</i> в мм	Шейка		Площадь калибра в мм <sup>2</sup>
						Закр.	Откр.		Площадь в мм <sup>2</sup>	Коеф. уменьшения площади	
I	37 × 10,4 = 385	1,07 1,12	37	6,4	37	10,4		180	1152	1,16	2692
II	36 × 11,4 = 410 42 × 10,3 = 433	1,31 1,21	36	7,5	42	11,4	10,3	178	1335	1,27	3021
III	42 × 12,8 = 537 39 × 13,5 = 526	1,24 1,34	42	9,7	39	12,8	13,5	175	1697	1,15	3823
IV	41 × 16,2 = 664 46 × 15,3 = 704	1,40 1,18	41	11,3	46	16,2	15,3	172	1944	1,38	4680
V	50 × 18,5 = 925 42 × 19,8 = 832	1,34 1,30	50	16,2	42	18,5	19,8	166	2689	1,21	6203
	49 × 25,2 = 1235 13 × 25,2 = 1083	1,26 1,51	49	19,6	43	25,2		166	3254	1,69	7890
	45 × 34,5 = 1552 47,5 × 34,5 = 1638	1,23 1,31	45	33,5	47,5	34,5		164	5494	1,35	11874
	43,6 × 43,9 = 1914 49 × 43,9 = 2151	1,15 1,23	43,6	46,0	49,0	43,9		162	7452	1,57	15582
	41 × 54 = 2214 49 × 54 = 2646	—	41	73,0	49,0	54,0		160	11680	—	21400

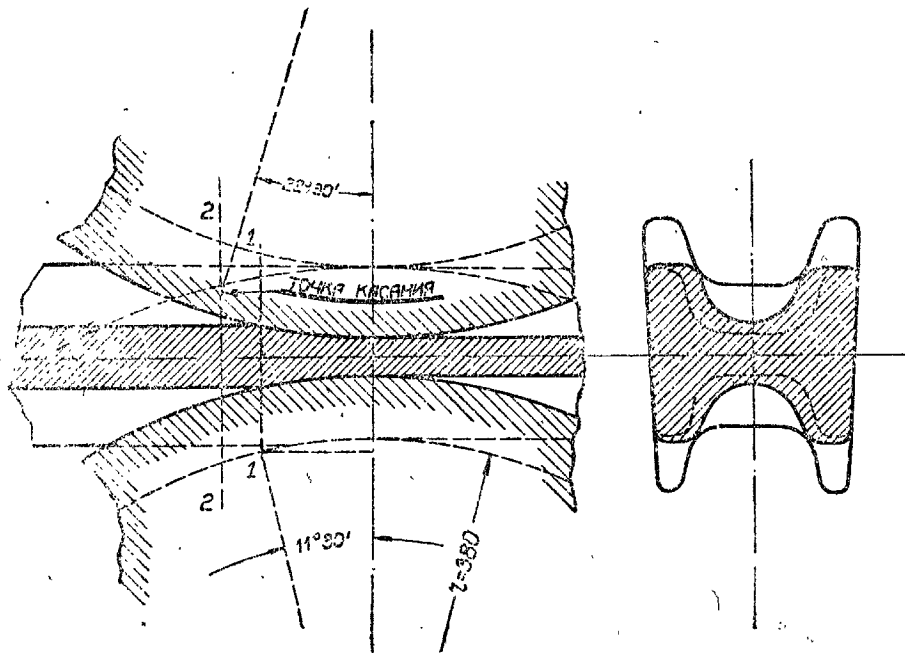
Примечание. Обозначения *ab*, *bc*, *cd* см. фиг. 133.

иметь места; если же она не работает, то волна металла направится в нее и начнет вытягивать балку за счет металла фланцев.

Таким образом, процесс штампования ставится в зависимость от порядка обработки частей балки во времени.

Если вся балка, и фланцы и шейка, будет принята бороздой более или менее одновременно, то при усиленной работе шейки будет происходить истечение во фланцы.

Напротив того, при одновременном захвате возможно вытягивание балки за счет фланцев, сопряженное с их усадкой. Таким образом, в калибровке фланцев играет роль время захвата, или что то же, — угол захвата.



Фиг. 150.

На фиг. 150 вычерчен зев борозды в момент захвата балки, причем линия 1—1 указывает момент захвата шейки, момент же захвата фланцев определяется так:

Разверзание калибра есть  $a = 28 \text{ мм}$  (фиг. 149),  $a = r(1 - \cos \alpha)$ , где  $\alpha$  есть угол захвата валами фланцев балки в точке  $b$ .

$$r = R - b_1, \quad O = 400 - 32 = 368 \text{ мм}$$

$$28 = 368 (1 - \cos \alpha)$$

$$\cos \alpha = 1 - \frac{28}{368} = 0,9238$$

$$\alpha = 22^\circ 30'.$$

Вычисляя углы захвата фланцев и шеек в различных бороздах, мы получим нижеследующую таблицу 20 углов захвата и схему

постепенного утонения фланцев (фиг. 151), из которой следует, что чем ближе подвигается прокатка к отделочному ручью, тем позже и позже захватывается шейка балки ( $\alpha = 3^\circ$ ) (табл. 20). Напротив того, в черновых ручьях и за захватом фланцев вскоре следует захват шейки ( $24^\circ$  и  $13\frac{1}{2}^\circ$ ).

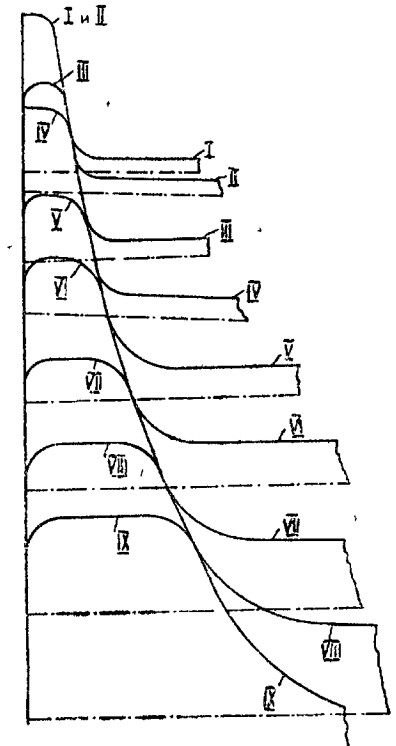
Таким образом, вообще говоря, материал фланцев более склонен течь в шейку, чем обратно, и эта склонность возрастает по мере продвижения прокатки к отделочному ручью. Отсюда должно признать вполне естественным, что фланцам дается больший коэффициент обжатия, чем шейке, как это делается в калибровке Нижне-Салдинского завода.

В калибровке Дружковского завода, как видно из таблицы коэффициентов, давление на шейку превосходит давление на фланцы, кроме последних ручьев, ближе к отделочному, где пришлось на фланцах дать давление больше, чем на шейку (табл. 21).

Возвращаясь к вопросу о направлении истечения из шейки во фланец или обратно, мы должны обратить внимание на нижеследующее обстоятельство: в черновых бороздах шейка короткая и толстая, в отделочных — широкая и тонкая. Из этого сопоставления ясно, что на истечение по направлению во фланцы можно рассчитывать свободно в черновых бороздах; что же касается борозд отделочных, то мы знаем, что чем тоньше кружок, тем большего усилия требует он для своего сжатия, и рассчитывать на уширение тонкой широкой шейки не приходится. Вот в этих двух обстоятельствах, повидимому, и лежит причина неудачи метода штампования в отделочных калибрах при прокатке балок. Коротко говоря, эти причины таковы: 1) одновременность начала обработки фланцев и шейки (увеличивается к отделочным ручьям); 2) питание фланцев за счет уширения уменьшается с уменьшением толщины шейки, т. е. по мере приближения к отделочной борозде.

Давление на шейку больше давления на закрытую часть калибра, и высота закрытого фланца уменьшается.

Давление на открытую часть калибра меньше давления на шейку и меньше давления на закрытую часть калибра, но фланец тем не менее увеличивается в высоту; когда же давление почти равно давлению на шейку, то в открытой части калибра получается гро-



Фиг. 151.

ТАБЛИЦА 20.

Порядок задачи	Угол захвата фланца		Угол захвата шейки	
	$1 - \cos \alpha$	$\alpha^\circ$	$1 - \cos \alpha$	$\alpha^\circ$
Из II в I . . . . .	$1 - \frac{5}{400 - 46}$	$9^\circ$	$1 - \frac{0,45}{400 - 3,5}$	$2^\circ 50'$
Из III во II . . . . .	$1 - \frac{18}{400 - 36}$	$18^\circ$	$1 - \frac{0,6}{400 - 4,5}$	$3^\circ$
Из IV в III . . . . .	$1 - \frac{13}{400 - 32}$	$15^\circ 20'$	$1 - \frac{1}{400 - 3,5}$	$4^\circ$
Из V в IV . . . . .	$1 - \frac{23}{400 - 23}$	$20^\circ$	$1 - \frac{3,5}{400 - 3}$	$6^\circ 30'$
Из VI в V . . . . .	$1 - \frac{23}{400 - 23}$	$20^\circ$	$1 - \frac{4}{400 - 8}$	$8^\circ$
Из VII в VI . . . . .	$1 - \frac{32}{400 - 24}$	$23^\circ 50'$	$1 - \frac{6}{400 - 12}$	$10^\circ$
Из VIII в VII . . . . .	$1 - \frac{28}{400 - 32}$	$22^\circ 30'$	$1 - \frac{8}{400 - 13}$	$12^\circ$
Из IX в VIII . . . . .	$1 - \frac{34}{400 - 17}$	$24^\circ$	$1 - \frac{13}{400 - 23}$	$13^\circ 30'$

Вывод. Первые 5 борозд работают штампованием, давление распределяется так:

ТАБЛИЦА 21.

Порядок задачи	Коэф. уменьшения площади в закрытом калибре	Высота фланца в закрытом калибре мм	Коэф. уменьшения площади шейки	Коэф. уменьшения площади в открытом калибре	Высота фланца в открытом калибре мм
Из IX в VIII . . . . .	1,23	49,0	1,57	1,15	43,6
Из VIII в VII . . . . .	1,31	47,5	1,35	1,23	45,0
Из VII в VI . . . . .	1,51	43,0	1,69	1,26	49,0
Из VI в V . . . . .	1,30	42,0	1,21	1,34	50,0

мадная резина. Когда фланец тонкий, открытый калибр чередуется с закрытым, и давление из открытого в закрытый дается большее, чем из закрытого в открытый (табл. 22).

ТАБЛИЦА 22.

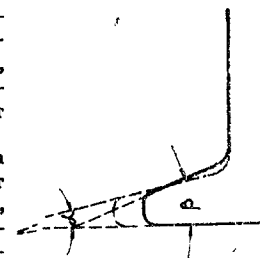
Порядок задачи	Давление из закрытого калибра в открытый	Давление из открытого калибра в закрытый
Из V в IV . . . . .	1,18	1,40
Из IV в III . . . . .	1,34	1,24
Из III во II . . . . .	1,21	1,31
Из II в I . . . . .	1,07	1,12

Выполнение фланцев штампованием до тех пор идет хорошо, пока температура фланцев равна температуре шейки. В этих случаях истечение во фланцы идет удовлетворительно, и «осадки» фланца не происходит, напротив того, иногда высота фланца увеличивается. Как только температура фланца делается ниже температуры шейки балки, так истечение направляется в сторону наименьшего сопротивления, и металл течет из фланцев в шейку, происходит осадка фланцев.

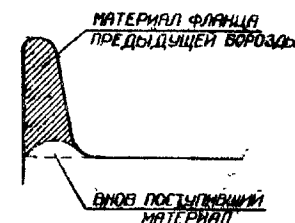
Иногда температура фланцевых частей может быть достаточно велика, но металл просто не успевает достичь до дна калибра. Требование большего выполнения фланца или быстрой текучести металла можно выполнить только повышенным давлением, а повышенное давление увеличивает текучесть в сторону удлинения полосы и фланец не заполняется. Фланец, толщина которого равна толщине закрытой части калибра, не течет совсем.

Корень фланца течет тем лучше, чем холоднее край, этим и оправдывается форма фланцев  $\beta$ , а не  $\alpha$  (фиг. 152), и калибровщики заботятся вдавить только кончик фланца, корень же пойдет уже легче.

Холодный край фланца закупоривает полость фланца. Текущий металл спрессовывает только материал фланца и способствует его выпячиванию, сам же занимает освободившееся место (фиг. 153).



Фиг. 152.



Фиг. 153.

При употреблении двутавровых балок иногда наблюдается чрезвычайно интересное явление, повторившееся на моих глазах дважды: с балками б. Днепровского завода в Каменском и с балками б. Петровского завода в Енакиеве. При укладке балок надо было у некоторых из них отрубить с конца верхнюю половину. Работа эта была поручена просто слесарю с зубилом. Слесарь наметил линию по середине балки и начал ее рубить. Каково же было его удивление, когда впереди зубила побежала трещина и получившиеся из балки два

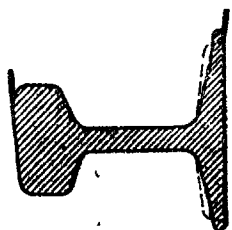
тавра начали развертываться и криво загибаться на фланец: надрубленная посередине балка получила вид вил. При малейшем ударе зубилом по средней линии балки трещина бежала все дальше и дальше, и тавры расходились все шире и шире. Здесь мы имеем случай, получаемый в прокатном изделии вследствие неодинакового коэффициента обжатия, даваемого калибровщиком на фланцы и шейку балок.

Чтобы выполнить фланцы, калибровщики усиленно работают их и дают очень маленькое давление на шейку, не получающую такого же давления. Балка в последних ручьях идет с очень горячими фланцами и почти темной шейкой. Если при остуживании балки шейка остынет раньше фланцев, то волокна ее окажутся сматыми, а волокна фланцев, остывших позже, окажутся вытянутыми. Теперь понятно, что если расщепить такую балку посередине, то она даст два изогнутых в дугу тавра, причем изгиб будет на фланцы.

## ГЛАВА VIII.

### Особенности калибровки рельсов.

**Раздавливание фланцев и вынужденное уширение.** Калибровка рельсов гораздо легче калибровки балок, ибо мы имеем возможность пользоваться в этой калибровке еще одним методом утонения фланцев, каким не можем пользоваться при балках, а именно, задав рельс с толстым фланцем в ребровый калибр, мы можем раздавить в один проход толстую подошву в тонкий фланец, что очень облегчает выработку фланца (фиг. 154). При этом заслуживает внимания необыкновенно большое уширение фланца в этих случаях, достигающее до 100% вертикального давления.



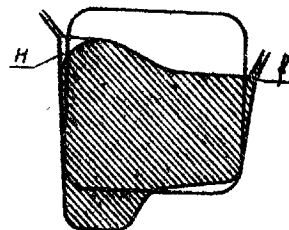
Фиг. 154.

Приобретший текучесть металл, повинаясь силе  $R$ , имеет стремление течь назад по направлению из валов; но он составляет одно целое и связан сцеплением со всей массой прокатываемого рельса, получающего самое ничтожное удлинение в этом калибре, поэтому течь назад он не может и растекается в стороны настолько широко, чтобы поместился его объем. Говоря короче, не имея возможности удлиниться, фланец уширяется.

„Вынужденным уширением“ просто объясняются весьма многие загадочные явления прокатки, например, заусенки. Мы видели, что нередко можно встретить очень длинные заусенки не толще лезвия перочинного ножа. Здесь металл, попавший в разрез вала, тоже не может удлиниться столько, сколько требует его коэффициент обжатия, ибо он связан с полосой, и поневоле растекается в стороны. Практическое значение вынужденное уширение получает при про-

ектировании черновых ручьев для несимметричных профилей, например, рельс. Понимание этого явления дает средства избежать весьма частых ошибок в калибровках несимметричных калибров.

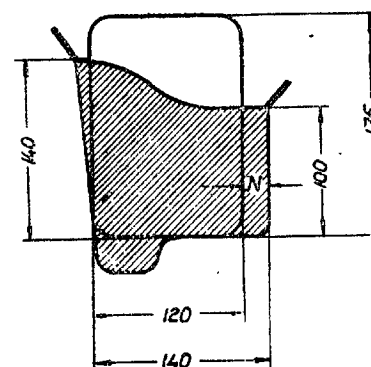
**Трапециевидные ручьи.** Просматривая любую калибровку рельсов, мы увидим, что в конце концов калибровщик в ней подходит к трапециевидной борозде (фиг. 155), которую надо получить из прямоугольника, квадрата или ромба обжимной пары валков. Весьма часто, можно сказать, почти всегда, вопрос решается калибровщиками очень просто: в трапециевидную борозду задается прямоугольная болванка, причем с правой стороны получается заусеница  $f$ , с левой же стороны получается неполнота калибра  $H$ . Происхождение этого невыполнения калибра и заусеницы понятны: нельзя же в самом деле давить на одну половину болванки больше, чем на другую. Очевидно, под таким неравномерным давлением правая сторона болванки будет вытягиваться скорее левой, и полосу изогнет, с другой стороны, правая сторона будет „утягивать“ левую, и в левом углу калибр не выполнится.



Фиг. 155.

Все это так просто объясняется, что, по-видимому, с загибом полосы, с заусеницей  $f$  и неполнотой калибра  $H$  приходится только помириться и как-нибудь к ним приспособиться.

На самом деле можно получить в трапециевидном калибре полосу прямую, выполненный угол  $H$  и отсутствие заусеницы  $f$ ; нужно только вспомнить о вынужденном уширении и им воспользоваться.



Фиг. 156.

Возьмем тот же калибр <sup>1)</sup>. Заддим в него прямоугольник уже его. Этот прямоугольник сам собою центрируется в борозде так, что прижимается к большому основанию трапеции; со стороны же меньшего основания остается свободный зазор (фиг. 156). Левая сторона болванки  $175 \times 120$  давится калибром до 140 мм, правая — до 100 мм; отсюда следует, что вытяжка правой половины имеет стремление обогнать вытяжку левой половины; но так как обе половины составляют одно

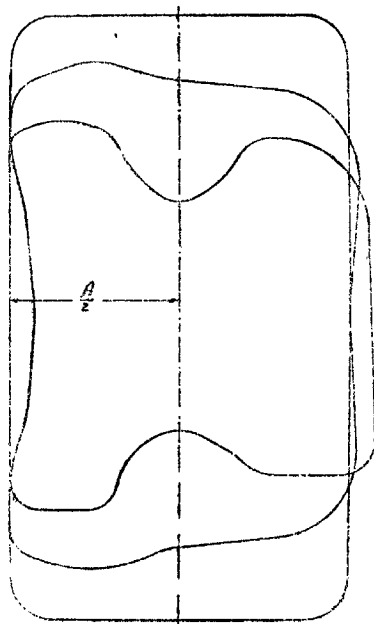
целое, то правая половина оказывается вынужденной уширяться за счет зазора  $H$  и дает полосу без заусенки  $f$  и без невыполненного угла.

Чтобы дать себе отчет — действительно ли уширение правой части способно возместить вполне недостаток удлинения левой части, нужно найти положение вертикальной линии, разделяющей

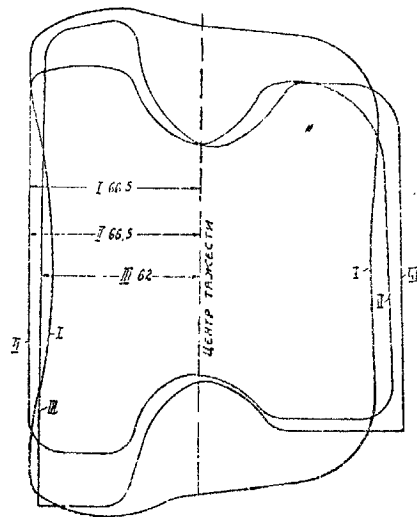
<sup>1)</sup> Описан случай, имевший место в Нижне-Салдинском заводе.

площадь этой вырезки. Оказывается, что эта линия остается на том же месте, где была равноделящая площади вырезки из заготовки. Отсюда мы получаем ясное короткое правило: если, идя от отделочного ручья, мы доходим до несимметричного чернового ручья вида, изображенного на фиг. 157, то надо найти линию, равноделящую площадь этого профиля; расстояние  $A/2$  и есть половина ширины, поступающей в калибр болванки; если неравномерная обработка по вертикали продолжается в следующем калибре, то уширение частей профиля будет таково, что равноделящая площадей не сместится.

Этот закон о несместимости вышеупомянутой линии находит себе удивительное подтверждение на практике. В нашем распоря-



Фиг. 157.



Фиг. 158.

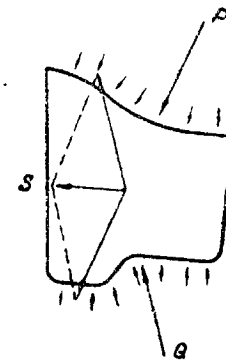
жении имеются чертежи калибровок для прокатки рельсов и вырезки из борозд. Одна из черновых борозд поразила тем, что она была очень плохо выполнена. К ней был применен закон постоянства положения равноделящей площади, и вот что было найдено.

Вырезок после пропуска в черновых ручьях (фиг. 158—I): расстояние названной линии до высокого края вырезки—66,5 мм. Вырезок после второго пропуска в следующей борозде (фиг. 158—II)—расстояние равноделящей площади до высокого бока приемки—66,5 мм, следовательно, закон сохранения положения равноделящей площади нашел в вырезках полное подтверждение.

Тогда мы стали искать ошибку калибровщика. Калибр III, если бы он был вполне выполнен, имел бы равноделящую площадь в расстоянии от высокого бока—62 мм, т. е. на 4 мм ближе предыдущей борозды. Такой калибр, конечно, невозможен. Естественное уширение может сделать это расстояние большим, но не меньшим. Калибр оказался спроектированным неправильно и выполнить быть не мог.

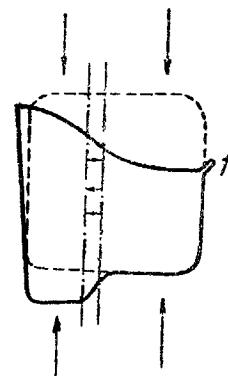
Выше мы указали на то, что болванка, заданная в трапецидальный калибр, „сама собой“ центрируется так, что прижимается к большому основанию трапеции.

Не трудно показать (фиг. 159), что такая центровка есть следствие трапецидальной формы калибра; что равнодействующее давление верхнего вала  $P$ , слагаясь с равнодействующей давлений нижнего вала  $Q$ , дает силу  $S$ , прижимающую полосу к большому основанию трапеции с большой силой. Поэтому трапецидальные калибры можно делать гораздо шире полосы, полоса в ней найдет сама свое место.



Фиг. 159.

Прижатая к большому основанию трапеции полоса в части, смежной с широким основанием трапеции, только удлиняется в части же, смежной с меньшим основанием, удлиняется и вынужденно расширяется. Если для вынужденного расширения места достаточно, то равноделящая площадь профиля остается, как мы видели, на своем месте; повинуюсь естественному закону уширения, она может только отодвинуться от широкого основания трапеции, но никоим образом к ней не приблизится.



Фиг. 160.

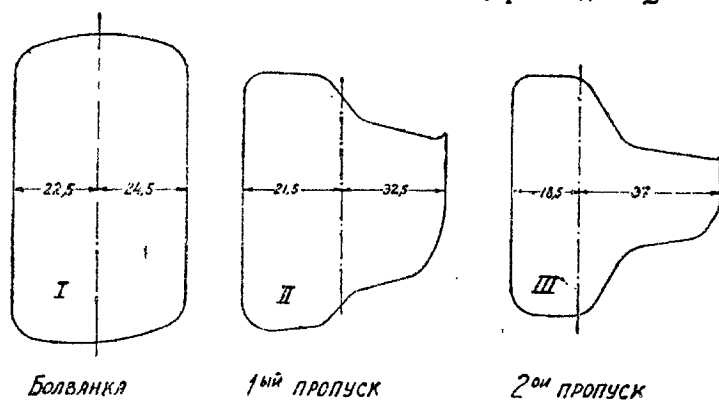
Другое дело, если калибр тесен и для вынужденного уширения нет места. Тогда происходит такое явление: подверженный сильному давлению в правой части калибра металл потечет во все стороны, куда только может, и даст заусеницу  $f$ , как свидетельницу повышенного давления в этой части калибра (фиг. 160); главная же масса металла направится в широкую часть калибра и усилит истечение ее назад, т. е. увеличит удлинение металла. Питание левой части калибра за счет правой сместит линию равноделящей площади в сторону широкого основания трапеции.

Таким образом, получение заусеницы и смещение этой линии суть два явления одновременных, и мы всегда можем предсказать появление заусеницы и указать, насколько надо урезать калибр, чтобы ее избежать; лучше же сделать полосу уже в предыдущем пропуске, чтобы избежать заусенки.

На фиг. 161 представлены обводки трех последовательных вырезков из черновых валов таврового железа 6. Каменского Дне-

провского завода. На обеих трапецидальных вырезках заметны заусенки, следовательно, равноделящие площади в этих вырезках должны быть смещены в сторону широкого основания. Действительно, расстояние этой линии от широкого основания: 1) в болванке — 22,5 мм; 2) в 1-м трапецидальном пропуске — 21,5 мм, 3) во 2-м трапецидальном пропуске — 18,5 мм.

Чтобы избежать заусенок, проектирование нужно было вести так: если желательно получение очертания профиля III, то проект профиля II надо сделать так, чтобы линия, равноделящая площади



Фиг. 161.

его, отстояла от широкого основания не на 21,5 мм, а на 18,5 мм, ширину же болванки сделать всего 37 мм.

При таком проектировании можно с уверенностью сказать, что заусенки не будет.

Следует обратить внимание, что раз мы сохранили положение равноделящей площади, у нас само-собой получилось место для вынужденного уширения.

Чрезвычайно интересный пример трапецидального ручья с невыполненным утянутым широким основанием представляет калибровка трамвайных рельсов б. Днепровского завода.

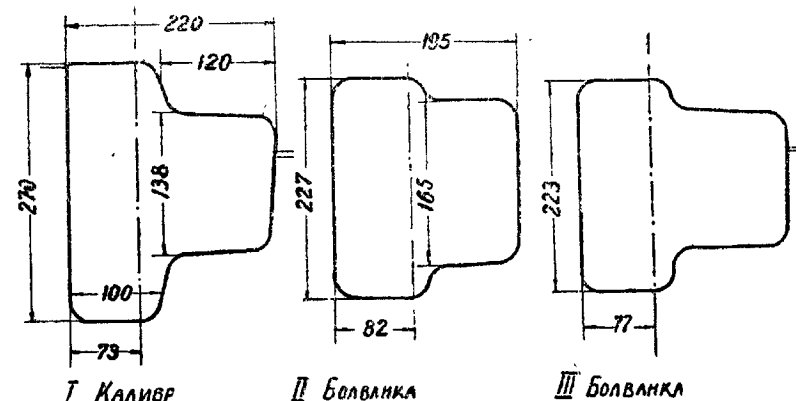
Первый черновой пропуск был спроектирован, как показано на фиг. 162-I. По закону постоянства положения равноделящей площади в хорошо выполненных калибрах ищем ее и находим в расстоянии 73 мм от широкого основания; отсюда следует: болванка должна быть шириной  $73 \times 2 = 146$  мм, а металл должен уширяться на  $220 - 146 = 74$  мм, т. е. на  $\frac{1}{3}$  своей ширины.

Очевидно, калибровщик поставил металлу требования, ни с чем не сообразные, и вот как металл из этого положения вышел: во время прокатки болванку в этот калибр взяли, вероятно, около  $175 \times 260$  мм; пропустили первый раз, подняли верхний вал на 36 мм, получили болванку размеров, показанных на фиг. 162-II. Нажали опять на 36 мм и получили болванку, у которой фланец оказался высотой не 270 мм, как хотел калибровщик, а всего 223 мм, т. е. на 47 мм ниже. Его утянуло, несмотря на истечение металла из правой половины в левую, что видно из положения

равноделящей площади болванки II—82 мм и болванки III—77 мм, следовательно, явление одно и то же: дает ли малое основание зарезину или утягивается широкое основание — металл течет в широкую часть трапеции, и равноделящая площадь приближается к широкому основанию.

**Боковое давление и разрезка валов.** Мы видели, что уменьшение толщины фланцев двутавровых балок делается обжатием их в открытой части калибров боковым давлением. Давление это весьма значительно, и понятие о нем могут дать нижеследующие цифры.

Примем высоту фланца в отделочной борозде равной 144 мм, радиус валов — равный 400 мм, площадь  $abc$ , где происходит уто-



Фиг. 162.

нение фланцев боковым давлением (фиг. 163), будет почти равна четверти площади сегмента, стрелка которого равна

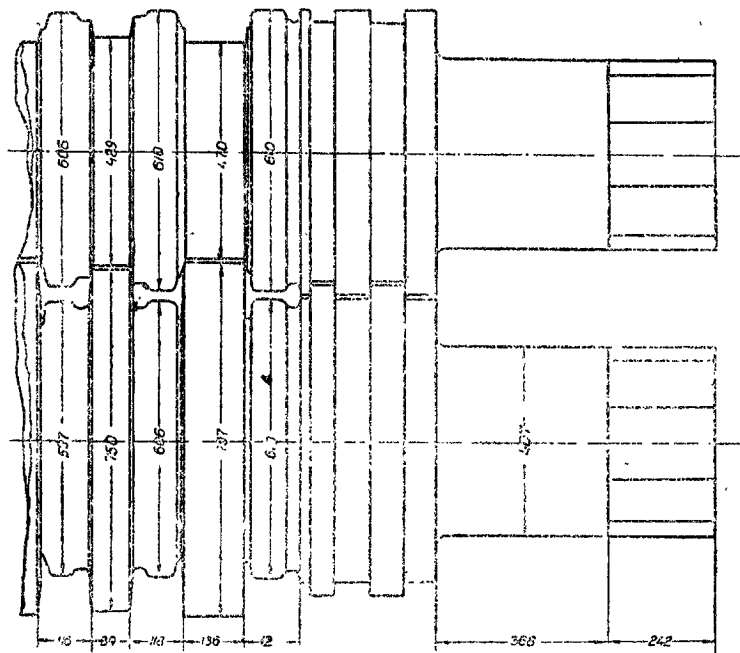
$$r = \frac{144}{2} = 72 = \frac{72}{400} R = 0,18 R.$$

Площадь такого сегмента будет равна

$$\omega = 0,141 \cdot R^2 = 0,141 (400)^2 = 22\,500 \text{ мм}^2; \quad \frac{\omega}{4} = 5\,600 \text{ мм}^2.$$

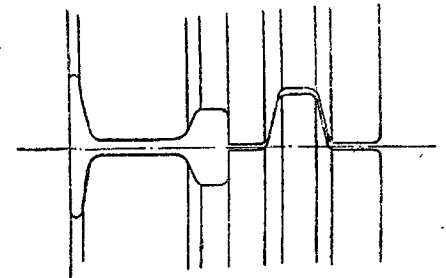
По опытам Далена, сопротивление раздавливанию слитков изменяется в пределах от 4,3 до 17,61 кг на 1 мм<sup>2</sup>; сопротивление раздавливанию тонкого фланца должно быть больше, скажем, от 5 до 20 кг на 1 мм<sup>2</sup>, откуда следует, что сила, раздвигающая валы вдоль оси стана, будет равна от 30 000 до 100 000 кг. Несомненно, что такое громадное давление валы испытывают при боковой прокатке всех профилей с фланцами. Но при прокатке симметричных балок эти боковые усилия взаимно уничтожаются, как равные и взаимно противоположные; при прокатке же несимметричных профилей, как рельсы, это боковое давление высту-

срока службы валов, колебание же в толщине фланцев при прокатке штука за штукой не допускается совсем. Ясное дело, что „держать“



валы при таких условиях подушками невозможно, и на практике калибровщики совсем не считаются с существованием установительных винтов и станин.

Для того чтобы предупредить продольное смещение одного вала относительно другого, на краях валов сыздавна делается замок из вертикальных гребней (фиг. 164). Этот замок, однако, быстро разрабатывается, если только на него, действительно, во время прокатки производилось давление. Причина этому простая. Скорости вращения различных точек по высоте гребня отличаются между собою, а следовательно, соприкасающиеся поверхности замка, скользя друг по другу, быстро истираются. Для уменьшения истирания гребней их мажут салом, но это плохо помогает. Если вертикальные гребни разработались, то поправить их невозможно. После каждой поправки зазор в них будет увеличиваться, и роль их, как меры предохранительной против продольного смещения валов, кончается.



Это заставило сменить прямые гребни на конические (фиг. 165). Конические гребни при каждой „поправке“ валов, соединенной с некоторым уменьшением их диаметра, прекрасно поправляются, как всякая коническая поверхность на валах, но они обладают одним весьма крупным неудобством, к рассмотрению которого мы и переходим.

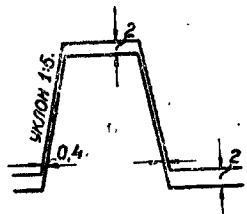
Неизбежность этого вертикального перемещения вала так велика, что калибровщики считают вредным затяжку головных винтов, благодаря которой нагреваются и портятся шейки валов и изнашиваются гребни. Нормально валы держатся на стане „слабо“, и при каждом пропуске валы „пружинят“ на целых 2—3 мм.

Подъем верхнего вала на 3 мм при уклоне гребней на  $\frac{1}{5}$  до  $\frac{1}{3}$  выводит их из зацепления друг с другом, и между их коническими поверхностями остается зазор от  $3 \times \frac{1}{5} = 0,6$  до 1 мм. Итак, в результате конические гребни не дают возможности дер-

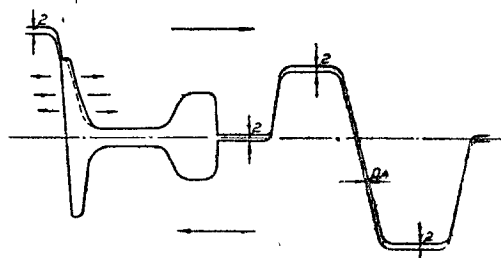
жать валы плотно друг относительно друга. Катая рельс в 10 мм толщиной шейки, мы должны собрать стан так, чтобы прозор для шейки был 8 мм, и если в это время конические гребни будут плотно прижаты друг к другу, то во время пропуска они отделятся друг от друга в вертикальном направлении на 2 мм и в горизонтальном направлении на 0,4 мм (фиг. 166 и 167).

При прокатке в валах, точно приточенных друг к другу, фланцевого сорта, в роде рельсов, тавров и т. п., и при наличии бокового давления, горизонтальные зазоры суммируются, верхний вал отойдет от нижнего, и фланц выкатается толще нормы на 0,4 мм. Однако, если бы верхний вал пожелал сместиться еще далее влево, он встретил бы непреодолимое препятствие со стороны боковых граней гребней, упершихся уже друг в друга, следовательно, конические гребни дают строго ограниченную возможность бокового перемещения.

Этот ограниченностью перемещения воспользовались калибровщики Нижне-Салдинского завода для уничтожения продольным пе-



Фиг. 166.



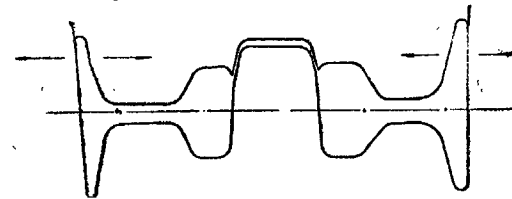
Фиг. 167.

ремещения валов, не прибегая к установительным винтам станин; эта система заслуживает самого серьезного внимания; она покоится на следующих соображениях:

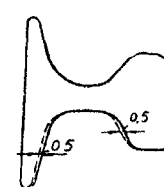
1) Когда верхний вал при пропуске полосы приподнимается максимум на 3 мм, а затем, под влиянием бокового давления или распора фланцев, подвинется вправо или влево и упрется в соответствующую коническую поверхность другого вала, то, конечно, желательно, чтобы упорная площадь была по возможности больше. Две конические поверхности могут упираться друг в друга только по линии касания, а так как распорное усилие велико, то желательно, чтобы эта линия касания была по возможности длиннее, и все гребни коснулись бы друг друга одновременно. Необходимое условие для этого, чтобы уклоны всех гребней были бы одинаковы. В Нижней Салде уклон гребней делается равным 0,3; в других заводах его делают 0,2, следовательно, при подъеме верхнего вала возможно горизонтальное перемещение его в Н. Салде на 0,9 мм, в других заводах — 0,6 мм.

2) Катая рельсы так же, как балки, т. е. чередуя закрытый фланцевый калибр с открытым, мы получим горизонтальное перемещение верхнего вала для левой части (фиг. 168) вправо на 0,5 мм, и для правой части — влево на 0,5 мм, следовательно, в обоих

случаях фланцы в открытых ручьях выйдут толще нормы на 0,5 мм, т. е. их надо точить на 0,5 мм тоньше (фиг. 169). Выточив все открытые фланцы на 0,5 мм тоньше нормы и дав достаточную опорную площадь в гребнях, мы можем быть совершенно спокойными за толщину фланцев; распор, испытываемый валами при прокатке фланцев, открытой части калибра, будет принят коническими гребнями валов, и „держать“ валы установительными винтами не будет никакой надобности. Валы могут лежать в станинах совершенно свободно только удерживаемые установительными винтами на месте, но не затянутые ими. В Нижней Салде точат не все открытые калибры тоньше на 0,5 мм, а через один; делают так: первый или отделочный точат в норму, второй точат на 1 мм тоньше, третий — в норму, пятый — на 1 мм тоньше. Порядок обработки рельсовых валов в Н. Салде принят таков: все отделочные прокатные валы кончаются поясками одинакового диаметра, равного диаметру валов минус 3 мм (фиг. 170). Таким образом, между поясками получается зазор в 3 мм. Устанавливая валы, их кладут



Фиг. 168.



Фиг. 169.

друг на друга, и в интервалах между пропусками вал катится по валу на этих поясках. Во время пропуска верхний вал поднимается на 3 мм и пропускает через борозду рельс или другую полосу, после чего опять ложится на пояски нижнего вала. Пояски должны быть сделаны точно одного диаметра, во избежание неравномерности хода валов. Зазор между верхом и дном бутов делается более 3 мм, обыкновенно около 5 мм, чем предупреждается соприкосновение окружностей разных диаметров.

По сделанному калибровщиком чертежу точно вытачивается нижний вал. Затем в токарный станок вставляется верхний вал, нижний же кладется над ним и верхний притачивается к нижнему или спаривается с ним. Поясок верхнего вала делается равным диаметру пояска нижнего вала плюс удвоенный зазор, т. е. 6 мм, и верхний вал притачивается к нижнему так, чтобы в борозды соприкасающихся валов точно входили бы шаблоны борозд.

Открытые фланцы 2-й и 4-й борозд (фиг. 170) точатся на 0,9 мм тоньше нормы. Конические поверхности гребней должны соприкасаться совершенно плотно. Когда валы приняты в таком положении, поясок верхнего вала и одну сторону конической поверхности грани стачивают настолько, что, когда поясок верхнего вала делается равного диаметра с нижним и нижний вал спустится на верхний, все конические поверхности гребней должны коснуться друг друга. Подняв затем верхний вал на 3 мм, как он поднимается во время прокатки, получим возможность пере-



двинуть верхний вал влево на 0,9 мм и получить открытую часть фланца калибра № 2 и 4 нормальной толщины.

Операцию стачивания на меру поясков верхнего вала и одностороннего среза гребней верхнего вала в Н. Салде называют „разрезкой“ валов.

**Методы калибровки рельсов.** При калибровке рельсов можно руководствоваться двумя системами:

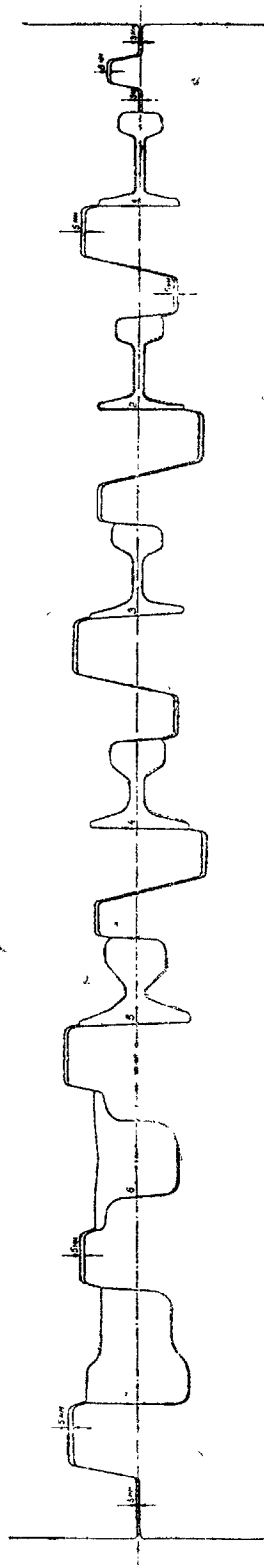
1) смотреть на рельс, как на самостоятельный тип, и для уточнения фланцев применять метод раздавливания фланца в плоском калибре почти в настоящую меру;

2) считать калибровку рельса частным случаем калибровки двутавровой балки и смотреть на половинки головки, как на укороченные фланцы двутавровой балки. В этом случае применяется метод утонения фланца в открытых калибрах боковым давлением, как в балках.

Первая система гораздо старше второй, которую применяют очень недавно. Неоспоримо, что давить фланцы в пластовом калибре гораздо выгоднее, чем катать его боковым давлением, но тем не менее второй системе надо отдать преимущество над первой.

Дело в следующем: по первой, старой системе, пластовый калибр располагается за 4 пропуска до отделочной борозды. По более новой системе его располагают за 3 пропуска до отделочной борозды. Раздавлив фланец на меру в пластовой борозде, его в 3 или 4 последующих бороздах только осаживают или тянут. Настоящей обработки фланец при этом не испытывает и поэтому быстро стынет, тогда как толстая головка усиленно формируется в этих бороздах; в конце концов из отделочной борозды головка выходит с температурой светлого красного каления, фланцы же выходят темнокрасными и даже темными.

Неравномерная температура рельса, выходящего из валов, влияет на неправильную усадку его при остывании и на крупность зерна, слагающего головку и подошву рельса. Первое вызывает изгиб рельса на головку при остывании и крайне вредную для прочности рельса правку в холодном состоянии



Фиг. 170.

„с подошвы“. Второе заставляет кончать прокатку рельсов при температуре vyšей для головки, чем бы следовало. Головка получает более крупнозернистое сложение, что, по опытам американцев безусловно вредно для продолжительности службы рельсов. Американцы с очевидностью доказали, что рельсы, конченные прокаткой при низкой температуре, имеют мелкозернистое сложение и сопротивляются износу в пути лучше рельсов, конченных прокаткой горячо и имеющих более крупное зерно.

Идеалом прокатки должна быть одинаковая температура как для фланцев, так и для головки, а так как в центре головки осевые волокна имеют температуру более высокую, чем видимые наружные слои, то желательно иметь видимую температуру фланцев более высокую, чем головки.

К этому идеалу можно приблизиться только энергично работая фланцы в открытом ручье „боковым давлением“, т. е. по более новой системе калибровки.