

М В О У С С Р

ДНЕПРОПЕТРОВСКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ им. И. В. СТАЛИНА

КАФЕДРА ОБРАБОТКИ МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ

Академик А. П. ЧЕКМАРЕВ

Доцент Р. А. МАШКОБЦЕВ

КАЛИБРОВКА ПРОКАТНЫХ ВАЛКОВ

(Учебное пособие по расчетам
калибровки)

Днепропетровск
1959 г.

О Г Л А В Л Е Н И Е

Раздел 1. Обжимно-заготовочное производство

стр.

Калибровка валков блуминга	3
Калибровка валков непрерывно-заготовочного стана /1 вариант/	33
Калибровка валков непрерывно-заготовочного стана /II вариант/ :	44
Калибровка валков обжимной клети трио	53

Раздел II. Сортопрокатное производство

Калибровка круглого и квадратного профилей	64
А. Калибровка круглого профиля	64
Б. Калибровка квадратного профиля	70
В. Порядок расчета системы вытяжных калибров для случая, когда заданы начальное и конечное сечение	72
Калибровка полосовой стали	75
Калибровка угловой стали	82
Калибровка швеллера № 24	87
Калибровка двутавровой балки № 30	99

Раздел III. Лабораторные работы

Прокатка квадратной стали	109
Прокатка угловой стали	110
Прокатка таврика	111
Прокатка двутавровой балки	112

Приложения

В В Е Д Е Н И Е

Значительное место в технологии обжимно-заготовочного и сортопрокатного производства занимает калибровка прокатных валков. От калибровки валков зависит получение профиля заданной формы и размеров, с качественной поверхностью проката.

От калибровки валков зависит возможность механизации и автоматизации производственных процессов, улучшение условий работы обслуживающего персонала.

Наконец, от количества, износостойкости и конструкции калибров, от расположения их в клетях стана зависит производительность стана и себестоимость прокатной продукции.

Настоящее издание является учебным пособием по калибровке прокатных валков и предназначено для студентов, выполняющих домашние задания, курсовые и дипломные проекты по обжимно-заготовочному и сортопрокатному производству.

В пособии не рассматриваются теоретические вопросы. Здесь приведены примерные расчеты калибровки наиболее массовых профилей, выполненные по методике академика АН УССР А.П.Чекмарева и некоторые данные о действующих заводских калибровках.

О б о з н а ч е н и я

1. Размеры и вес прокатываемого металла

- H - высота полосы до прохода
 h - высота полосы после прохода
 h_n - высота полосы после n -го прохода
 B - ширина полосы до прохода
 b - ширина полосы после прохода
 L - длина полосы до прохода
 l - длина полосы после выхода из валков
 Q - площадь поперечного сечения до прохода.
 q - площадь поперечного сечения после прохода.
~~V~~ - объем
 G - вес

П. У г л ы

- α - угол захвата
 β - угол трения
 γ - нейтральный угол
 ψ - переменный угол

III. Рабочие валки

- D - диаметр
 D_k - катающий диаметр
 R - радиус
 R_k - катающий радиус
 F - площадь контактной поверхности
 l_d - длина очага деформации.

I. Коэффициенты

- μ - коэффициент вытяжки
 f - коэффициент трения
 ρ - коэффициент уменьшения высоты
 K - показатель уширения
 M - относительное обжатие за проход
 Δh - абсолютное обжатие
 ε - относительное обжатие
 Δb - абсолютное уширение
 S - спередиение
 S' - отставание

У. Силы и напряжения

- P - полное давление металла на валки
 p - сопротивление деформации /среднее удельное давление/
 T - сила трения
 G - временное сопротивление
 G_s - предел текучести

У1. Разное

- v - окружная скорость
 u - скорость деформации
 n - число оборотов валков
 t - время прохода
 τ - время паузы
 t° - температура
 N - мощность
 A - работа.

Р А З Д Е Л 1

Обжимно-заготовочное производство

КАЛИБРОВКА ВАЛКОВ БЛУМИНГА

Исходные данные:

1. Размеры слитка $740 \times 740 \times 2050$ мм.
 590×590

вес $C = 6,85$ т. Сталь конструкционная среднеуглеродистая.

2. Конечное сечение блума $\Phi 240$ мм

3. Предусмотреть прокатку блума $\Phi 200$ мм и сляба
 120×600 мм.

4. Начальный диаметр валков $D_L = 1150$ мм

Приведенный ниже метод калибровки можно назвать ка-
либровкой по заданному углу захвата.

Обозначим:

H и B - размеры граней слитка по его уширен-
ному концу

h и b - размеры граней блума.

Полное /общее/ обжатие по стороне H /рис.1/

$$\Delta h_H = H - h + K_c (B - b);$$

где K_c - коэффициент или показатель уширения.

$$K_c = \frac{B - b}{H - h} = \frac{\Delta b}{\Delta h}$$

Показатели уширения действительно имеющие место при
прокатке различных марок стали на некоторых отечественных

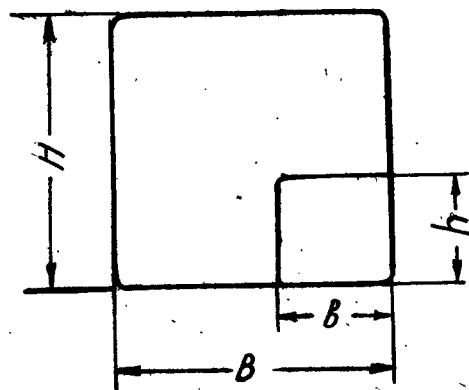


Рис. 1

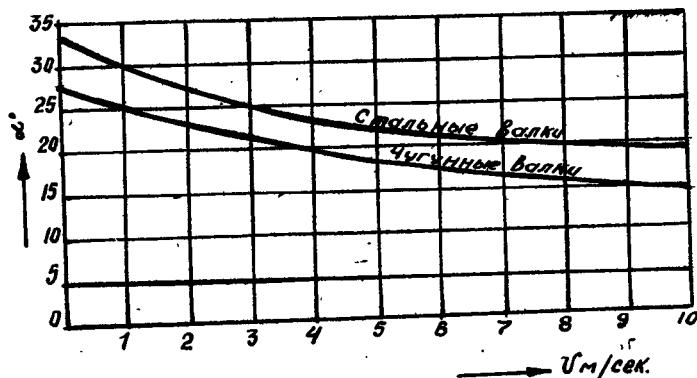


Рис. 3

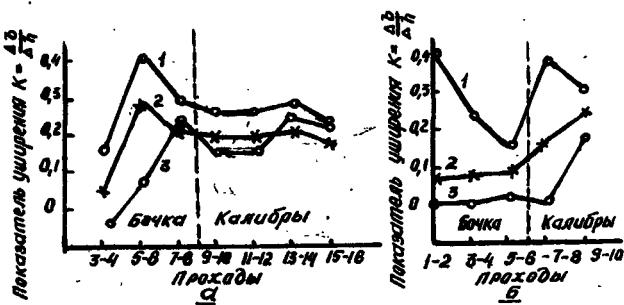


Рис. 2

блумингах приведены в таблице № 1. На рис. 2 показано распределение показателей уширения по проходам при прокатке стали ст.3 на блумингах завода им. Зербинского /а/ и завода "Красный Октябрь" /б/.

Величина K_c зависит от обжатия, размеров сечения раската количества проходов и других факторов, которые нам пока не известны. Поэтому значение K_c берем ориентировочно, а в конце расчета произведем корректировку.

Для блуминга можно взять $K_c = 0,2 \div 0,25$ /меньшее значение для больших размеров слитков и блумов/. Принимаем $K_c = 0,2$.

При условии $H = B$; $h = b$ и $K_{ch} = K_{cv}$ -

полное обжатие по стороне H будет равно полному обжатию по стороне B .

$$\Delta h_n = \Delta h_b = 740 - 240 + 0,2 (740 - 240) = 600 \text{ мм}$$

Для определения возможного максимального обжатия за проход необходимо знать максимально допустимый угол захвата α_{max} и катающий диаметр D_k .

Определим максимальный идеальный диаметр $D_i min$ /с учетом переточек/.

$$D_i min = (0,92 \div 0,90) D_i ;$$

$$D_i min = 0,91 \cdot 1150 \cong 1050 \text{ мм}$$

Ввиду того, что разница высот калибров на практике невелика, принимаем среднюю глубину вреза калибров $h_{ep} = 200 \text{ мм}$

Тогда средние катающие диаметры равны:

$$D_{k max} = 1150 - 200 = 950 \text{ мм}$$

$$D_{k min} = 1050 - 200 = 850 \text{ мм}$$

Определим обжатие по формуле:

$$\Delta h = D_k (1 - \cos \alpha)$$

На основании имеющихся практических и литературных данных можно рекомендовать максимальные углы захвата α_{max} при прокатке на гладких стальных и чугунных валках в соответствии с графиком $\alpha = f(v)$ /рис.3/

Угол захвата может быть несколько повышен при наличии.

Таблица I.

ПОКАЗАТЕЛИ УШИРЕНИЯ ПРИ ПРОКАТКЕ В БУЛГИНРАХ

БЛУМНИГ	Марка сталь	Слит-	Вес се- ка	Прокатыва-		Проход-	КМНН:	Кср:	M _{шакс}
				име	чение	Калибр	ди		
Завода ИМ.Дзержин- ского	3 кг	6,1	180x180	I	/бочка/ 2,3	3-8 9-16	0,08 0,183	0,178 0,184	0,278 0,248
Завод "Красный октябрь"	3 кг	4,06	190x190	I	/бочка/ 2	1-6 7-8	0,007 0,0	0,075 0,162	0,259 0,384
2 МНК	3 кг	6,56	290x290	I	/бочка/ 2	3-6 3-6	0,043 0,023	0,175 0,138	0,46 0,283
2 МНК	3 т/м	6,56	110x650	I	/бочка/ 2	7-8	0,076	0,18	0,53
Завода ИМ.Петров- ского	Рельсовая МБ2	4,36	190x170	I	/бочка/ 2, 3, 4	3-8 9-16	0,03 0,15	0,165 0,175	0,353 0,244
МНК	Рельсовая	6,73	330x320	I	/бочка/ 2	1-4 5-10	0,016 0,102	0,15	0,36 0,292
Завода "Днепропре- сталь"	УЮА	2,15	140x150	I	/бочка/ 2,3,4,5	1-10 II-24	0,023 -	0,198 0,158	0,416 -

Таблица I /последняя /

КИМ	УЭЛ	5,7	слаб	I /бочка/	5-10	0,06	0,195	0,343	
Завода "Днепропре- сталь"	"Днепропре- сталь"	ШХ5	2,15	140x140	I /бочка/	3-10	0,040	0,225	0,450	
					2,3	II-20	0,112	0,15	0,225	
Завода "Красный Октябрь"	"Красный Октябрь"	"	3,8	220x190	I /бочка/	I-10	0,139	0,27	0,421	
				190x190	2	II-16	0,044	0,085	0,148	
То же		35ХГСА	6,15	220x190	I /бочка/	I-12	0,03	0,19	0,374	
					2	II-20	0,107	0,124	0,137	
Завода "Днепропре- сталь"	"Днепропре- сталь"	ЗОХГСА	2,0	180x190	I /бочка/	I-10	0,043	0,228	0,454	
					2,3,4	II-18	0,180	0,159	0,228	
То же		IX18Н3Т	2,15	195x182	I /бочка/	3-12	0,038	0,226	0,494	
					2,3,4	III-24	0,293	0,224	0,360	
Завода "Красный Октябрь"	"Красный Октябрь"		2,5	140x300	I /бочка/	I-8	0,00	0,095	0,211	
					2,3	II-16	0,295	0,195	0,202	

насечки или наварки на валках, а также при скорости рольганга /скорости задачи/ выше скорости валков в момент захвата.

Принимая скорость валков при захвате $v = 1,0 + 2,5$ м/сек по графику $\alpha = f(v)$ находим максимально возможный угол захвата.

$$\alpha_{\max} = 26^\circ; \quad \cos 26^\circ = 0,899 \approx 0,9$$

Найдем среднее обжатие за проход:

$$\Delta h_{\text{ср}} = 850 / 1 - 0,9 = 85 \text{ мм}$$

Определяем число проходов по сторонам Н и В:

$$n_H = n_B = \frac{\Delta h_H}{\Delta h_{\text{ср}}} = \frac{\Delta h_B}{\Delta h_{\text{ср}}} = \frac{600}{85} = 7,1$$

Исходя из того, что общее число проходов на блуминге должно быть целым и нечетным, принимаем:

$$n_H = 8; \quad n_B = 7; \quad n = n_H + n_B = 8 + 7 = 15$$

Обжатия и кантовки производим в соответствии со схемой /табл. 2/.

Пересчитаем среднюю величину обжатия по Н и В:

$$\Delta h_{\text{ср}} = \frac{\Delta h_H}{n} = \frac{600}{8} = 75 \text{ мм}$$

$$\Delta h_{\text{ср}} = \frac{\Delta h_B}{n_B} = \frac{600}{7} = 85,7 \text{ мм}$$

Табл. 2

Проход:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	Все-
Сторона:	H	+	+			+	+		+	+		+	+	+	+	го
	B		+	+			+	+		+	+		+		7	

Распределим обжатия по стороне В так, чтобы каждое частное обжатие было кратким 5 /для удобства работы оператора/

$$\Delta h_B = 1 \times 90 + 6 \times 85 = 600 \text{ мм}$$

Принятые нами ориентировочно величины обжатий в дальнейшем будут скорректированы.

Сделаем расчет размеров прокатываемого профиля по проходам.

Прокатка в 1 калибре

В задании предусматривается прокатка сляба минимальной толщины 120 мм, поэтому принимаем глубину вреза 1 калибра

$$h_1 = 120 \text{ мм}$$

Максимальная толщина сляба роли не играет, т.к. валки можно раздвигать. Максимальная ширина сляба обычно не больше ширины слитка, а даже немного меньше. Значит для калибровки ширин сляба можно не оговаривать.

Катающие диаметр и радиус в 1 калибре:

$$D_{n_1} = 1150 - 120 = 1030 \text{ мм}; \quad R_{n_1} = \frac{1030}{2} = 515 \text{ мм}$$

Обычно калибровку делают один раз. Сначала /при $D_1 = 1150/\text{мм}/$, максимальные углы захвата не достигаются. $\alpha_{\max} = 26^\circ$ в конце службы валков, после последней переточки.

Расчет целесообразно делать по большему диаметру, т.к. при этом получатся наибольшие уширения, а при последующей работе валков /с уменьшением диаметров/ переполнений калибров металлом - лампасов - не будет.

Обжатие по стороне Н.

1 проход. Размеры задаваемого слитка:

$$\text{высота } H_1 = H_0 = 740 \text{ мм};$$

$$\text{ширина } B_1 = B_0 = 740 \text{ мм};$$

$$\text{обжатие } \Delta h_1 = 75 \text{ мм}$$

Размеры выходящего профиля.

$$\text{Высота } h_1 = H_1 - \Delta h_1 = 740 - 75 = 665 \text{ мм}$$

Угол захвата

$$\alpha_1 = \arccos \left(1 - \frac{\Delta h_1}{D_{n_1}} \right) = \arccos \left(1 - \frac{75}{1030} \right) = 22^\circ = 0,38 \text{ рад.}$$

Уширение определяем по формуле А.П.Чекмарева:

$$\Delta B = \frac{2 \cdot b_{cp} \cdot \Delta h \cdot k}{(H+h) \left[1 + (10\alpha) \left(\frac{b_{cp}}{R\alpha} \right)^n \right]} \text{ см}$$

где: $b_{op} = \frac{b_0 + b}{2}$ - средняя ширина очага деформации;
 k - коэффициент несвободного уширения;
 $K = 0 + 1 /$ соответственно несвободное \div свободное
уширение/;
 α - угол захвата в радианах;
 $R\alpha$ - длина дуги захвата;
 n - показатель степени
 $n = 1$ при $b_{op} < R\alpha$ (узкий очаг деформации)
 $n = 2$ при $b_{op} > R\alpha$ (широкий очаг деформации)

При большой ширине раската и относительно малых уширениях, как это имеет место в блуминге, вместо b_{op} можно подставить B (при калибровке по ходу прокатки) и δ (при калибровке против хода прокатки).

Длина дуги захвата $R_I \alpha_1 = 515.0,38 = 196$ мм $< B$,

$$\Delta b_1 = \frac{2,740 \cdot 75 \cdot 1}{(740+665) [1+(1+0,38) (\frac{740}{515.0,38})^2]} = 3,9 \text{ мм.}$$

Величину расчетного уширения округляем кратно 5:

$$\Delta b_1 = 5 \text{ мм.}$$

Ширина выходящей полосы:

$$b_1 = B_1 + \Delta b_1 = 740 + 5 = 745 \text{ мм.}$$

2 проход - возвратный в том же калибре.

Размеры задаваемого профиля:

$$\text{высота } H_2 = h_1 = 665 \text{ мм,}$$

$$\text{ширина } B_2 = b_1 = 745 \text{ мм.}$$

$$\text{Обжатие } \Delta h_2 = 75 \text{ мм}$$

Размеры выходящего профиля:

$$\text{высота } h_2 = 665 - 75 = 590 \text{ мм}$$

$$\text{Угол захвата } \alpha_2 = \arccos(1 - \frac{75}{1030}) = 22^\circ = 0,38 \text{ рад.}$$

Уширение

$$\Delta b_2 = \frac{2 \cdot 745 \cdot 75 \cdot 1}{(665 + 590) [1 + 1,38 (\frac{745}{196})^2]} = 4,2 \text{ мм} = 5 \text{ мм}$$

Ширина полосы после прохода:

$$b_2 = 745 + 5 = 750 \text{ мм}$$

После второго прохода конусность двух граней слитка уничтожена. Для снятия конусности с противоположных сторон производим кантовку раската на 90° .

Обжатие по стороне В

3 проход: Размеры задаваемого профиля:

$$\text{высота } h_3 = b_2 = 750 \text{ мм};$$

$$\text{ширина } B_3 = h_2 = 590 \text{ мм};$$

$$\text{обжатие } \Delta h_3 = 90 \text{ мм.}$$

Получаем:

$$\text{высота полосы: } h_3 = 750 - 90 = 660 \text{ мм}$$

$$\text{угол захвата} \alpha_3 = \arccos\left(1 - \frac{90}{1030}\right) = 24^\circ = 0,42 \text{ рад.}$$

Длина дуги захвата

$$R_I \alpha_3 = 515 \cdot 0,42 = 216 \text{ мм} < B_3$$

Уширение:

$$\Delta b_3 = \frac{2 \cdot 590 \cdot 90 \cdot 1}{(750+660) \left[1 + 1,42 \left(\frac{590}{216} \right)^2 \right]} = 6,5 \text{ мм} \leq 5 \text{ мм}$$

Ширина полосы:

$$b_3 = 590 + 5 = 595 \text{ мм}$$

4 проход Размеры задаваемого профиля:

$$h_4 = h_3 = 660 \text{ мм}$$

$$B_4 = b_3 = 595 \text{ мм}$$

Обжатие $\Delta h_4 = 85 \text{ мм.}$

Получаем:

$$\text{высота } h_4 = 660 - 85 = 575 \text{ мм};$$

угол захвата

$$\alpha_4 = \arccos\left(1 - \frac{85}{1030}\right) = 23^\circ 30' = 0,41 \text{ рад.}$$

Длина дуги захвата

$$R_I \alpha_4 = 515 \cdot 0,41 = 211 \text{ мм} < B_4$$

Уширение

$$\Delta b_4 = \frac{2 \cdot 595 \cdot 85 \cdot 1}{(660+575) \left[1 + 1,41 \left(\frac{595}{211} \right)^2 \right]} = 6,7 \text{ мм} \quad x/$$

Ширина

$$b_4 = 595 + 10 = 605 \text{ мм}$$

После 4-го прохода раскат кантуется на 90° с целью получения более равномерной деформации металла и меньшего искажения боковых граней раската от местного уширения.

Обжатие по стороне И

5 проход

Размеры задаваемого профиля.

$$H_5 = b_4 = 605 \text{ мм};$$

$$B_5 = h_4 = 575 \text{ мм}$$

$$\text{Обжатие } \Delta h_5 = 75 \text{ мм}$$

Получаем:

$$\text{высота } h_5 = 605 - 75 = 530 \text{ мм}$$

угол захвата

$$\alpha_5 = \arccos = \left(1 - \frac{75}{1030} \right) = 22^\circ = 0,38 \text{ рад.}$$

Длина дуги захвата

$$R_I \alpha_5 = 515 \cdot 0,38 = 196 \text{ мм} < B_5$$

Уширение

$$\Delta b_5 = \frac{2 \cdot 575 \cdot 75 \cdot 1}{(605+530) \left[1 + 1,38 \left(\frac{575}{196} \right)^2 \right]} = 5,9 \text{ мм} \approx 5 \text{ мм}$$

Ширина

$$b_5 = 575 + 5 = 580 \text{ мм}$$

6 проход

Размеры задаваемого профиля:

$$H_6 = h_5 = 530 \text{ мм};$$

$$B_6 = b_5 = 580 \text{ мм}$$

$x/ \Delta b_4$ округляем до 10 мм т.к. сумма

$\Delta b_3 + \Delta b_4 = 6,5 + 6,7 = 13,2 \text{ мм}$ ближе к 15 мм, а Δb_3 мы ранее округлили до 5 мм.

Обжатие $\Delta h_6 = 75$ мм

Получаем:

высота $h_6 = 530 - 75 = 455$ мм

угол захвата $\alpha_6 = \alpha_3 = 22^\circ$

Длина дуги захвата

$$R_1 \alpha_6 = 196 \text{ ммм} < B_6$$

Уширение

$$\Delta b_6 = \frac{2 \cdot 580 \cdot 75 \cdot 1}{(530+455) [1+1,38 \left(\frac{580}{196}\right)^2]} = 6,8 \text{ мм} \approx 10 \text{ мм}$$

Ширина

$$b_6 = 580 + 10 = 590 \text{ мм}$$

Полученное сечение имеет соотношение сторон

$$\frac{b_6}{h_6} = \frac{590}{455} = 1,3. \text{ После кантовки это сечение будет задаваться}$$

на ребро. Для лучшего удержания его необходимо иметь ограниченно уширение. Поэтому переходим на прокатку во II калибре. Обычно в первом калибре делают 6 - 8 проходов.

Прокатка во II калибре

Глубина вреза второго калибра выбирается несколько меньше половины максимальной ширины раската, прокатываемого в данном калибре до кантовки /в пределах 180-220 мм/ с целью сохранения прочности валков.

$$b_7 - B_7 + \Delta b_7 + \Delta b_8 = 455 + \Delta b_7 + \Delta b_8 \approx 470 \text{ мм}$$

Половина ширины раската

$$\frac{b_6}{2} = \frac{470}{2} = 235 \text{ мм}$$

Принимаем глубину вреза калибра $h_{\text{II}} = 220$ мм

Катающие диаметр и радиус II калибра:

$$D_{\text{II}} = 1150 - 220 = 930 \text{ мм};$$

$$R_{\text{II}} = \frac{930}{2} = 465 \text{ мм}$$

Обжатие по стороне В

7 проход

Размеры задаваемого профиля:

$$H_7 = b_6 = 590 \text{ мм};$$

$$B_7 = h_6 = 455 \text{ мм}$$

Обжатие $\Delta h_7 = 85 \text{ мм}$.

Получаем:

$$\text{высота } h_7 = 590 - 85 = 505 \text{ мм}$$

угол захвата

$$\alpha_7 = \arccos \left(1 + \frac{85}{930} \right) = 24^\circ 40' = 0,43 \text{ рад.}$$

длина дуги захвата

$$R_I \alpha_7 = 465 \cdot 0,43 = 200 \text{ мм} < B_7$$

Уширение

$$\Delta b_7 = \frac{2 \cdot 455 \cdot 85 \cdot 1}{(590+505) \left[1+1,43 \left(\frac{455}{200} \right)^2 \right]} = 8,2 \text{ мм} \approx 10 \text{ мм}$$

Ширина

$$b_7 = 455 + 10 = 465 \text{ мм}$$

8 проход

Размеры задаваемого профиля:

$$H_8 = h_7 = 505 \text{ мм};$$

$$B_8 = b_7 = 465 \text{ мм}$$

Обжатие $\Delta h_8 = 75 \text{ мм}$

Получаем:

$$\text{высота } h_8 = 505 - 75 = 420 \text{ мм}$$

$$\text{угол захвата } \alpha_8 = 24^\circ 40' = 0,43 \text{ рад.}$$

длина дуги захвата

$$R_I \alpha_8 = 465 \cdot 0,43 = 200 \text{ мм} < B_8$$

Уширение

$$\Delta b_8 = \frac{2 \cdot 465 \cdot 85 \cdot 1}{(505+420) \left[1+1,43 \left(\frac{465}{200} \right)^2 \right]} = 9,5 \text{ мм} \approx 10 \text{ мм}$$

Ширина

$$b_8 = 465 + 10 = 475 \text{ мм}$$

После 8 прохода раскат кантуется на 90° .

Обжатие по стороне Н.

9 проход.

Размеры задаваемого профиля:

$$H_9 = b_8 = 475 \text{ мм};$$

$$B_9 = h_8 = 420 \text{ мм}$$

$$\text{Обжатие } \Delta h_9 = 75 \text{ мм}$$

Получаем:

$$\text{высота } h_9 = 475 - 75 = 400 \text{ мм}$$

угол захвата

$$\alpha_9 = \arccos\left(1 - \frac{75}{930}\right) = 23^\circ 10' = 0,40 \text{ рад.}$$

Длина дуги захвата

$$R_{II} \alpha_9 = 465 \cdot 0,40 = 186 \text{ мм} < B_9$$

Уширение

$$\Delta b_9 = \frac{2 \cdot 420 \cdot 75 \cdot 1}{(475+400)[1+1,40(\frac{420}{186})^2]} = 8,7 \text{ мм} \approx 10 \text{ мм}$$

$$\text{Ширина } b_9 = 420 + 10 = 430 \text{ мм}$$

10 проход

Размеры задаваемого профиля:

$$H_{10} = h_9 = 400 \text{ мм};$$

$$B_{10} = b_9 = 430 \text{ мм}$$

$$\text{Обжатие } \Delta h_{10} = 75 \text{ мм}$$

Получаем:

$$\text{высота } h_{10} = 400 - 75 = 325 \text{ мм}$$

$$\alpha_{10} = \alpha_9 = 23^\circ 10'; \quad R_{II} \alpha_{10} = R_{II} \alpha_9 = 186 \text{ мм} < B_{10}$$

Уширение

$$\Delta b_{10} = \frac{2 \cdot 430 \cdot 75 \cdot 1}{(400+325)[1+1,40(\frac{430}{186})^2]} = 10,3 \text{ мм} \approx 10 \text{ мм}$$

Ширина

$$b_{10} = 430 + 10 = 440 \text{ мм}$$

После 10 прохода раскат кантуется на 90° . Вследствие большого соотношения сторон $\frac{b_{10}}{h_{10}} = \frac{440}{325} = 1,35$ и большой разницы размеров щечения переходим на прокатку в III калибре.

Прокатка в III калибре

Принимаем глубину вреза III калибра, учитывая возможность прокатки $\phi 200$ мм, равной

$$h_{III} = 160 \text{ мм}$$

Катающие диаметр и радиус III калибра

$$D_{III} = 1150 - 160 = 990 \text{ мм};$$

$$R_{III} = \frac{990}{2} = 495 \text{ мм.}$$

Обжатие по стороне В

11 проход

Размеры задаваемого профиля:

$$H_{11} = b_{10} = 440 \text{ мм};$$

$$B_{11} = h_{10} = 325 \text{ мм}$$

$$\text{Обжатие } \Delta h_{11} = 85 \text{ мм}$$

Получаем:

$$\text{высота } h_{11} = 440 - 85 = 355 \text{ мм}$$

угол захвата

$$\alpha_{11} = \arccos\left(1 - \frac{85}{990}\right) = 24^\circ = 0,42 \text{ рад.}$$

Длина дуги захвата

$$R_{III} \alpha_{11} = 495 : 0,42 = 208 \text{ мм} < B_{11}$$

Уширение

$$\Delta b_{11} = \frac{2 \cdot 325 \cdot 85 \cdot 1}{(440+355) \left[1 + 1,42 \left(\frac{325}{208} \right)^2 \right]} = 15,4 \text{ мм} \approx 15 \text{ мм}$$

Ширина

$$b_{11} = 325 + 15 = 340 \text{ мм}$$

12 проход

Размеры задаваемого профиля:

$$H_{12} = h_{11} = 355 \text{ мм};$$

$$B_{12} = b_{11} = 340 \text{ мм}$$

$$\text{Обжатие } \Delta h_{12} = 85 \text{ мм}$$

Получаем:

$$\text{высота } h_{12} = 355 - 85 = 270 \text{ мм}$$

$$\text{угол захвата } \alpha_{12} = \alpha_{11} = 24^\circ$$

Длина дуги захвата

$$R_{\text{III}} \alpha_{12} = R_{\text{III}} \alpha_{11} = 208 \text{ мм} < B_{12}$$

Уширение

$$\Delta b_{12} = \frac{2 \cdot 340 \cdot 85 \cdot 1}{(355+270) [1+1,42 (\frac{340}{208})^2]} = 19,2 \text{ мм} \approx 20 \text{ мм}$$

Ширина

$$b_{12} = 340 + 20 = 360 \text{ мм}$$

После 12 прохода раскат кантуется на 90° .

Обжатие по стороне Н

13 проход

Размеры задаваемого профиля:

$$H_{13} = b_{12} = 360 \text{ мм};$$

$$B_{13} = h_{12} = 270 \text{ мм}$$

$$\text{Обжатие } \Delta h_{13} = 75 \text{ мм}$$

Получаем:

$$\text{высота } h_{13} = 360 - 75 = 285 \text{ мм}$$

угол захвата

$$\alpha_{13} = \arccos(\frac{1 + \frac{75}{285}}{990}) = 22^\circ 30' = 0,39 \text{ рад.}$$

Длина дуги захвата

$$R_{\text{III}} \alpha_{13} = 495 \cdot 0,39 = 193 \text{ мм} < B_{13}$$

$$\text{Уширение } \Delta b_{13} = \frac{2 \cdot 270 \cdot 75 \cdot 1}{(360 + 285) [1+0,39 (\frac{270}{193})^2]} = 16,9 \text{ мм} \approx 15 \text{ мм}$$

Ширина

$$b_{15} = 270 + 15 = 285 \text{ мм}$$

14 проход

Размеры задаваемого профиля:

$$H_{14} = h_{15} = 285 \text{ мм};$$

$$B_{14} = b_{15} = 285 \text{ мм}$$

Обжатие $\Delta h_{14} = 75 \text{ мм}$

Получаем:

высота $h_{14} = 285 - 75 = 210 \text{ мм}$

Угол захвата $\alpha_{14} = \alpha_{15} = 22^{\circ}30' = 0,39 \text{ рад.}$

Уширение

$$\Delta b_{14} = \frac{2 \cdot 285 \cdot 75 \cdot 1}{(285+210) \left[1 + 1,39 \left(\frac{285}{193} \right)^2 \right]} = 21,4 \text{ мм} \approx 25 \text{ мм}$$

Ширина

$$b_{14} = 285 + 25 = 310 \text{ мм}$$

После кантовки на 90° переходим на прокатку в 1У калибре

Прокатка в 1У калибре

Четвертый калибр последний при прокатке $\varphi 240 \text{ мм}$

Учитывая возможность использования этого калибра как предпоследнего при прокатке $\varphi 200 \text{ мм}$, принимаем глубину вреза равной

$$h_{14} = 160 \text{ мм}$$

Катающие диаметр и радиус в 1У калибре

$$D_{K1U} = 1150 - 160 = 990 \text{ мм}$$

$$R_{K1U} = \frac{990}{2} = 495 \text{ мм}$$

Обжатие по стороне В

15 проход

Размеры задаваемого профиля:

$$H_{15} = b_{14} = 310 \text{ мм};$$

$$B_{15} = h_{14} = 210 \text{ мм}$$

Обжатие

$$\Delta h_{15} = 85 \text{ мм}$$

Получаем:

Высота $h_{15} = 310 - 85 + 225 \text{ мм}$
 угол захвата $\alpha_{15} = \arccos \left(1 - \frac{85}{990} \right) = 24^\circ = 0,42 \text{ рад.}$

Длина дуги захвата

$$R_{\bar{x}} \alpha_{15} = 4951 \cdot 0,42 = 208 \text{ мм} < b_{15}$$

Уширение

$$\Delta b_{15} = \frac{2 \cdot 210 + 85 + 1}{(310+225) \left[1+1,42 \frac{(210)^2}{208} \right]} = 27,2 \text{ мм} \approx 25 \text{ мм}$$

Ширина $b_{15} = 210 + 25 = 235 \text{ мм}$

Данные расчета сводим в предварительную таблицу калибровки блуминга /табл.3/.

В результате расчета мы получили сечение 225 x 235 мм вместо требовавшегося 240 x 240 мм. Это различие должно быть устранено путем корректировки. Кроме этого, корректировка необходима с точки зрения соответствия ширины раската ширине II и III калибров.

Предварительная таблица калибровки блуминга

Таблица 3.

№	Обжатие	Уширение	Высота	Ширина	Калибры	
проходов	по сторонам	Δh	Δb	h	b	
1	2	3	4	5	6	7
0	Слиток	-	-	740	740	
1	Н	75	5	665	745	
2	Н	75	5	590	750	
3	В	90	5	560	595	
4	В	85	10	575	605	
5	Н	75	5	530	580	
6	Н	75	10	455	590	
7	В	85	10	505	465	

1	2	3	4	5	6	7
8	B	85	10	420	475	
9	H	75	10	400	430	
10	H	75	10	325	440	
11	B	85	15	355	340	
12	B	85	20	270	360	
13	H	75	15	285	285	
14	H	75	25	210	310	
15	B	85	25	225	235	1У

Принимаем, что обжатие в 15 проходе сохраняется равным 35 мм. Тогда можем найти толщину металла, задаваемого в 15 проход /т.е. ширину металла после 14 прохода/.

$$H_{15} = b_4 = 240 + 85 = 325 \text{ мм}$$

Эта ширина и будет шириной III калибра. Ширина 1У калибра должна соответствовать ширине блума 240 мм.

Находим толщину металла после прокатки в 14 проходе

$$h_4 = 240 - 25 = 215 \text{ мм}$$

Ширина металла 325 мм должна быть получена и после 12 прохода, т.к. из четырех проходов, производимых в III калибре, максимальная ширина металла будет перед кантовками /в 12 и 14 проходе/.

Следовательно, суммарное обжатие в 13 и 14 проходах составляет:

$$\Delta h_{13} + \Delta h_{14} = 325 - 215 = 110 \text{ мм}$$

Распределим обжатия между 13 и 14 проходами поровну:

$$\Delta h_{13} = 55 \text{ мм};$$

$$\Delta h_{14} = 55 \text{ мм}$$

Толщина металла после 13 прохода будет:

$$h_{13} = 215 + 55 = 270 \text{ мм}$$

Найдем уширение в 13 и 14 проходах: $\Delta b'_z = \Delta b_z \frac{\Delta h'_z}{\Delta h_z}$;

$$\Delta b_{13} + \Delta b_{14} = (15 + 25) \frac{55 + 55}{75 + 75} = 40 \frac{110}{150} = 30 \text{ мм}$$

Распределим это уширение между 13 и 14 проходами

$$\Delta b_{13} = 15 \text{ мм}; \quad \Delta b_{14} = 15 \text{ мм};$$

и получаем

$$b_{13} = 325 - 15 = 310 \text{ мм};$$

$$h_{12} = 310 - 15 = 295 \text{ мм}$$

Принимаем $\Delta h_{12} = 80 \text{ мм}; \quad \Delta h_{11} = 85 \text{ мм.}$

При этом имеем те же уширения. Тогда

$$h_{11} = 295 + 80 = 375 \text{ мм}; \quad b_{11} = 325 - 20 = 305 \text{ мм};$$

$$b_{10} = 375 + 85 = 460 \text{ мм}; \quad h_{10} = 305 - 15 = 290 \text{ мм.}$$

Из полученных данных следует, что ширина II калибра должна быть равна 460 мм.

Такой же ширины должен получиться раскат после 8 прохода, т.е.

$$b_8 = 460 \text{ мм}$$

Обжатие в 9 и 10 проходах составит:

$$\Delta h_9 + \Delta h_{10} = 460 - 290 = 170 \text{ мм}$$

т.е. $\Delta h_9 = 85 \text{ мм}; \quad \Delta h_{10} = 85 \text{ мм}$

$$h_9 = 290 + 85 = 375 \text{ мм}$$

Суммарное уширение в 9 или 10 проходах:

$$\Delta b_9 + \Delta b_{10} = (10+10) \frac{85 + 85}{75 + 75} = 20 \frac{170}{150} = 23,7 \cong 25 \text{ мм}$$

Распределим уширение по проходам:

$$\Delta b_{10} = 15 \text{ мм}; \quad \Delta b_9 = 10 \text{ мм, тогда}$$

$$b_9 = 460 - 15 = 445 \text{ мм};$$

$$h_9 = 445 - 10 = 435 \text{ мм}$$

Таким образом, в 8 проходе получились размеры сечения 435 x 460 мм вместо прежних ориентировочных 420 x 475 мм.

Поэтому по стороне В нужно уменьшить обжатие на 15 мм

/435 - 40/, а по стороне Н обжатия должны быть увеличены на 15 мм /475 - 460/.

Распределим эти разности между несколькими проходами, по 5 мм на каждый /уменьшая обжатия в 8,7 и 3 и увеличивая в 5,2 и 1 проходах/.

Уширение в 1 - 8 проходах оставляем без изменения. Полученные после корректировки данные сводим в окончательную таблицу калибровки /табл.4/.

Таблица калибровки блуминга 1150 мм для прокатки

блумов Ф 240 мм

Табл. 4

№ прохо- дов	Об- жатие по сто- роне	Высота: Δh мм	Ширина: Δb мм	Высота: h мм	Ширина: b мм	Показание стрелки цифер- блата
0	Слиток	-	-	740	740	-
1	Н	80	5	660	745	540
2	Н	80	5	580	750	460
3	В	85	5	665	585	1
4	В	85	10	580	595	460
5	Н	80	5	515	585	120x800
6	Н	75	10	440	595	320
7	В	80	10	515	450	265
8	В	80	10	435	460	П
9	Н	85	10	375	445	220x460
10	Н	85	15	290	460	125
11	В	85	15	375	305	40
12	В	80	20	295	325	215
13	Н	55	15	270	310	135
14	Н	55	15	215	325	110
15	В	85	25	240	240	55
					1У-160x240	80

Ширину 1 калибра, как незаполняемого, принимаем 800 мм. Показания стрелки циферблата получаются как разность между толщиной раската в данном проходе и высотой калибра.

Полученная нами калибровка валков блуминга может служить для прокатки малоуглеродистых, среднеуглеродистых и низколегированных сталей.

При прокатке слитков сталей с пониженной пластичностью целесообразно обжатия в первых проходах уменьшить для предупреждения образования трещин.

В таблице 5 приведена калибровка валков блуминга для прокатки блума 240 x 240 мм из слитка 740 x 740 мм за 13 проходов.

Таблица калибровки валков блуминга 1150 мм для прокатки блума 240 x 240 мм в 13 проходов

№ про- ходов	Обжатие:		Высота: ниеб	Ширина: неб	Калибра: неб	Показание стремянок циферблата	
	по сто- роне	Δh				мм	мм
0	Слиток		740.	740		-	-
1	Н	85	5	655	745		535
2	Н	85	5	570	750		450
3	В	100	5	650	575	1-120x800	330
4	В	100	10	550	585		430
5	В	100	5	450	590		330
6	В	100	10	350	600		230
7	Н	85	10	515	360		295
8	Н	85	15	430	375	Па-220x410	210
9	Н	85	15	345	390		125
10	Н	80	20	265	410		45
11	В	100	25	310	290	III-160x325	150
12	В	100	35	210	325	50	50
13	Н	85	30	240	240	1У-160x240	80

В отличие от предыдущей калибровки здесь принят максимальный угол захвата $\alpha_{max} = 28^\circ$ /при скорости валков 0,5 +1,5 м/сек/.

$$\cos \alpha_{max} = \cos 28^\circ = 0,88$$

Среднее обжатие за проход составляет

$$\Delta h_{ep} = 850 (1 - 0,88) \approx 100 \text{ мм}$$

Число проходов по сторонам Н. и В

$$n_H = n_B = \frac{\Delta h_H}{\Delta h_{ep}} = \frac{\Delta h_B}{\Delta h_{ep}} = \frac{600}{100} = 6.$$

Принимаем

$$n_H = 7; \quad n_B = 6; \quad n = n_H + n_B = 7 + 6 = 13$$

Среднее обжатие по стороне Н:

$$\Delta h_{epH} = \frac{600}{7} = 85,7 \text{ мм}$$

Среднее обжатие по стороне В:

$$\Delta h_{epB} = \frac{600}{6} = 100 \text{ мм}$$

Необходимо отметить, что в настоящее время на некоторых заводах применяются обжатия в отдельных проходах даже больше 100 мм /см.табл.7/.

Кантовки предусмотрены также по распространенной на заводах схеме: 2 - 4 - 4 - 2 - 1.

Калибровка для прокатки слябов.

Для прокатки слябов могут быть использованы калибры для прокатки блумов.

В 1 калибре осуществляются первые и последние проходы, прочие используются для обжатия на ребро после кантования. Нами принят слиток 740 x 740 x 2050 мм. Из этого слитка можно

590 x 590

получить слябы шириной до 600 мм /максимум до 650 мм/.

Рассчитаем калибровку для сляба 120 x 600 мм. Обжатие по стороне Н в первых двух проходах выбираем следующим образом:

$$\Delta h_1 + \Delta h_2 = \frac{740 - 600}{2} = \frac{140}{2} = 70 \text{ мм}$$

Откуда $\Delta h_1 = 35 \text{ мм}; \quad \Delta h_2 = 35 \text{ мм}$

Уширение за два прохода составит /приближенно/ 5 мм.

Относим уширение ко II проходу:

$$\Delta b_1 = 0; \quad \Delta b_2 = 5 \text{ мм}$$

Обжатие по стороне В выбираем таким /суммарное за 4 прохода/, чтобы толщина раската была несколько меньше ширины второго калибра $B_{II} = 460 \text{ мм}$ /

Принимаем

$$h_6 = 440 \text{ мм.}$$

Тогда суммарное обжатие в 3,4,5 и 6 проходах будет

$$\Delta h_{3-6} = 745 - 440 = 305 \text{ мм}$$

Производим следующее распределение обжатий:

$$\Delta h_3 = 80 \text{ мм}; \quad \Delta h_4 = \Delta h_5 = \Delta h_6 = 75 \text{ мм}$$

Уширение определяем по формуле А.П.Чемарева

Расчет дает следующие значения:

$$\Delta b_3 = 5 \text{ мм}; \quad \Delta b_4 = 5 \text{ мм}; \quad \Delta b_5 = 5 \text{ мм}; \quad \Delta b_6 = 10 \text{ мм.}$$

Ширина после каждого прохода легко определяется. В частности, после 6 прохода

$$b_6 = 695 \text{ мм}$$

Общее обжатие во II калибре

$$\Delta h_{II} = 695 - 600 = 95 \text{ мм}$$

Принимаем $\Delta h_7 = 50 \text{ мм}; \quad \Delta h_8 = 45 \text{ мм}$

Имеем $h_7 = 695 - 50 = 645 \text{ мм}; \quad h_8 = 645 - 45 = 600 \text{ мм}$

Уширение принимаем следующее:

$$\Delta b_7 = 0; \quad \Delta b_8 = 5 \text{ мм.}$$

Затем снова последует кантование и прокатка в 1 калибре

Поскольку ширина 1У калибра 240 мм, допускаем

$$h_{12} = 225 \text{ мм}$$

/в 1 калибре снова будет четыре прохода/

Суммарное обжатие за 4 прохода

$$\Delta h_{9-12} = 445 - 225 = 220 \text{ мм}$$

Производим распределение обжатий по проходам:

$$\Delta h_9 = \Delta h_{10} = 60 \text{ мм}; \quad \Delta h_{11} = \Delta h_{12} = 50 \text{ мм};$$

$$h_9 = 445 - 60 = 385 \text{ мм}; \quad h_{10} = 385 - 60 = 325 \text{ мм};$$

$$h_{11} = 325 - 50 = 275 \text{ мм}; \quad h_{12} = 275 - 50 = 225 \text{ мм.}$$

Подсчитываем уширение:

$$\Delta b_3 = 5 \text{ мм}; \quad \Delta b_{10} = \Delta b_{11} = \Delta b_{12} = 10 \text{ мм}.$$

Подсчитав ширину раската по проходам, получаем

$$b_{12} = 635 \text{ мм}$$

В итоге после 12 прохода получаем сечение 225 x 635 мм. Лишнюю ширину в последующих 2-х ребровых проходах необходимо снять, плюс к тому предусмотреть величину уширения при окончательной раскатке сляба до необходимой толщины.

Принимаем /пока ориентировочно/, что уширение в последних проходах составит всего 30 мм. Тогда можно установить следующие обжатия: 13 и 14 проходах:

$$\Delta h_{13} = 35 \text{ мм}; \quad h_{13} = 635 - 35 = 600 \text{ мм}; \\ \Delta h_{14} = 30 \text{ мм}; \quad h_{14} = 600 - 30 = 570 \text{ мм}.$$

Уширение в ребровых проходах принимаем всего 5 мм, т.е.

$$\Delta b_3 = 0; \quad b_3 = 225 \text{ мм}; \\ \Delta b_4 = 5 \text{ мм}; \quad b_4 = 225 + 5 = 230 \text{ мм}.$$

Обтачивающееся обжатие:

$$\Delta h_{5-7} = 230 - 120 = 110 \text{ мм}$$

производим за 3 прохода в 1 калибре, принимая

$$\Delta h_5 = \Delta h_6 = 40 \text{ мм}; \quad \Delta h_7 = 30 \text{ мм}.$$

В заключение пересчитываем в 15, 16 и 17 проходах уширение и проверяем, достаточно ли оно близко к принятому ориентировочно.

Калибровка потребовала 17 проходов, т.е. на 2 прохода больше, чем прокатка блума Ф 240 мм, что объясняется весьма малыми вытяжками в ребровых проходах и уменьшенными обжатиями при прокатке широких плоских сечений.

Таблица калибровки блуминга 1150 мм
для прокатки слаба 120 x 600 мм

Таблица № 6

№ прохо- дов	Обжатие по сто- роне	Слиток	Ушире- ние б	Высота h	Ширина b	Калибр	Показание стрелки ци- ферблата
0			-	740	740		0
1	H	35	0	705	740		585
2	H	35	5	670	745		550
3	B	80	5	665	675	1	545
4	B	75	5	590	680	120 x 800	470
5	B	75	5	515	685		395
6	B	75	10	440	695		320
7	H	50	0	645	440	P	425
8	H	45	5	600	445	220x460	380
9	B	60	5	385	605		265
10	B	60	10	325	615	1	205
11	B	50	10	275	625	120x800	155
12	B	50	10	225	635		105
13	H	35	0	600	225	1у	440
14	H	30	5	570	230	160x240	410
15	B	40	10	190	530	1	70
16	B	40	10	150	590	120x800	30
17	B	30	10	120	600		0

К построению калибров /рис. 4/

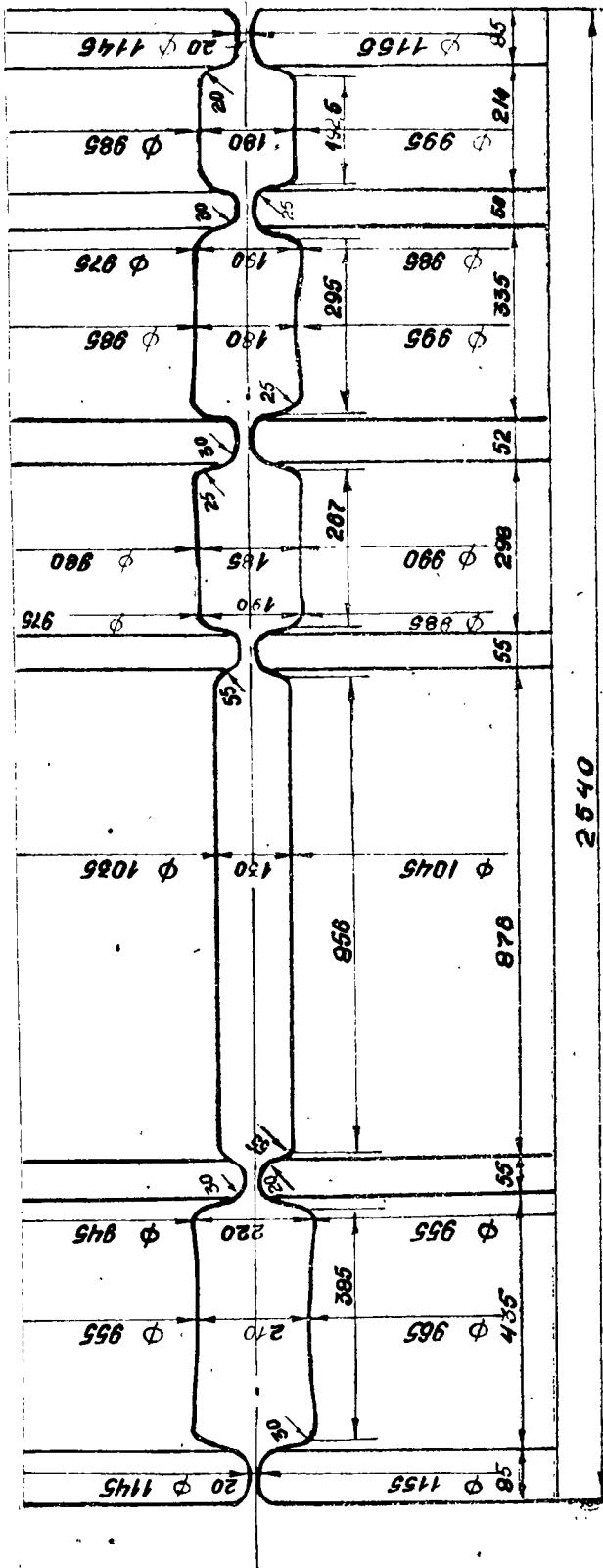
Обозначим через ΔD_K - "давление", т.е. разность катящих диаметров нижнего и верхнего валков.

Для блумингов

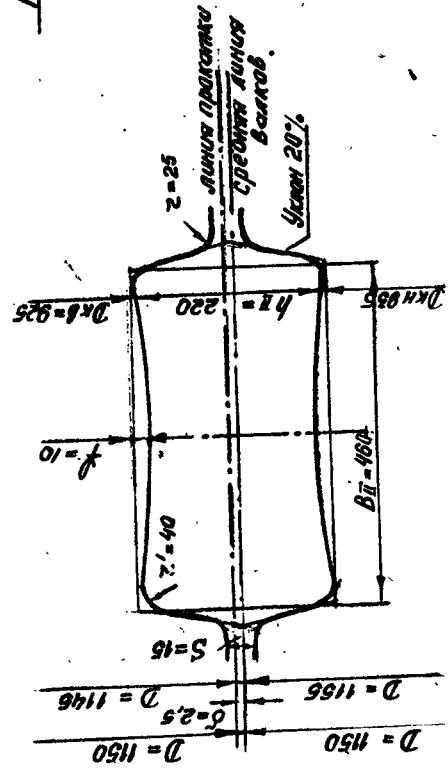
$$D_K = D_{KH} - D_{KB} \approx 10 \text{ мм}$$

Верх от средней линии валков откладываем $\delta = \frac{1}{4} \Delta D_K = 2,5 \text{ мм}$
и получаем среднюю линию прокатки / - смещение /

Расстояние между калибрами, т.е. ширину бортов валков
борт примерно равной высоте бортов/ т.е. половине высоты



Puc. 5



Puc. 4

калибра, наиболее глубокого из двух смежных.

Крайние бурты делают шире, примерно 150 - 250 мм
"Пружина" для блуминга $S = 10 - 20$ мм. Принимаем

$S = 15$ мм. Вправо и влево от точки 0 откладываем половину ширины калибра

$$0,5 B_{II} = 0,5 \cdot 460 = 230 \text{ мм};$$

вверх и вниз - половину высоты калибра:

$$0,5 \cdot h_{II} = 0,5 \cdot 220 = 110 \text{ мм}$$

Закругление у буртов

$$z = (0,10 \div 0,15) \cdot h_k = (0,1 \div 0,15) 220 \approx 25 \text{ мм}$$

Уклон 15 - 25%. Закругление у дна калибра:

$$z' = (0,08 \div 0,1) \cdot b = (0,08 \div 0,1) 460 \approx 40 \text{ мм}$$

Вогнутость $f = 5 + 10$ мм

Вычерчивание остальных калибров производится аналогичным образом. В 1 калибре, имеющем неглубокий врез, радиус закругления дна принимаем не более 50 мм, а радиус закругления бурта - по II калибру. Дно делаем прямым. Вогнутость отсутствует и в выпускных калибрах /1У, У/.

Калибровка валков блуминга завода "Авосталь" приведена на рис. 5.

Таблица 6.

Схемы обжатий, применяемые на блумингах заводов СССР

Завод /сталь/	Номер схемы:	Пропуск:	Калибр:		H мм:	S мм	B мм	mm	mm
			1	2					
MMK	1	7	0	-	750	660	-	-	-
			1	Б	650	680	100	-	-
			2	Б	580	680	70	-	-
			3	Б	585	585	95	5	
			4	Б	520	595	65	10	
			5	Б	455	605	65	0	
			6	Б	395	615	60	10	
			7	1	535	410	80	15	

1	:	2	:	3	:	4	:	5	:	6	:	7	:	8
/кипящая/				8	1	455		425		80		15		
				9	1	375		355		80		10		
				10	1	295		445		80		10		
				11	П	345		315		100		20		
				12	П	285		325		60		10		
				13	III	300		290		25		5		
				0	-	760/720		690/650		-		-		
				1	Б	760		760		70		-		
				2	Б	550		760		70		-		
				3	Б	480		770		70		40		
				4	Б	410		780		70		10		
				5	1	690		410		90		-		
КМК		2		6	1	600		420		90		10		
/кипящая/				7	1	515		430		85		10		
				8	1	430		440		85		10		
				9	1	375		440		65		10		
				10	1	310		450		65		10		
				11	П	320		330		130		20		
				0	-	730/700		670/640		-		-		
				1	Б	650		686		80		10		
				2	Б	590		699		60		13		
				3	Б	600		620		99		30		
				4	Б	525		630		75		19		
				5	Б	450		655		75		16		
				6	Б	380		668		70		13		
"Азовсталь"		3		7	1	565		408		103		23		
/кипящая/				8	1	480		425		85		17		
				9	1	400		434		80		9		
				10	Б	315		450		85		15		
				11	П	405		328		45		13		
				12	Б	333		350		72		22		
				13	Б	345		335		5		2		

1	2	3	4	5	6	7	8
Макеевский /кипящая/	4	0	-	760	690	-	-
		1	Б	670	690	90	-
		2	Б	610	690	60	-
		3	Б	550	700	60	10
		4	Б	490	710	60	10
		5	Б	430	720	60	10
		6	Б	380	730	50	10
		7	1	610	390	120	10
		8	1	520	400	90	10
		9	1	430	415	90	15
		10	1	340	430	90	15
		11	1	345	355	85	15
		12	1	265	370	80	15
		13	П	300	280	70	15
НТМЗ /кипящая/	5	0	-	760/640	680/600	-	-
		1	Б	680	700	80	20
		2	Б	605	70	75	-
		3	Б	605	615	95	10
		4	Б	540	625	65	10
		5	Б	470	635	70	10
		6	Б	405	645	65	10
		7	Б	600	415	45	10
		8	Б	520	425	80	10
		9	1	450	435	70	10
		10	1	400	445	50	10
		11	1	360	410	85	10
		12	1	295	420	65	10
		13	П	305	320	115	25
		0	-	760	680	-	-
		1	Б	660	705	100	25
		2	Б	595	730	65	25

1	2	3	4	5	6	7	8
НМЗ /кипящая/	5а	3	Б	617	625	113	30
		4	Б	527	650	90	25
		5	Б	470	660	57	10
		6	Б	385	687	85	27
		7	Б	585	426	102	41
		8	Б	512	429	73	3
		9	1	450	432	62	3
		10	1	380	435	70	3
		11	1	360	400	75	20
		12	1	295	410	65	10
		13	П	300	315	110	20
		0	1	760/635	670/545	-	-
		1	Б	610	760	60	-
КМК /рельсовая/	6	2	Б	550	765	60	5
		3	Б	490	770	60	5
		4	Б	420	780	70	10
		5	1	695	425	85	5
		6	1	605	430	90	5
		7	1	515	440	90	10
		8	1	425	450	90	10
		9	1	380	430	70	5
		10	1	310	440	70	10
		11	П	320	330	120	20
		0	-	700/560	700/560	-	-
"Азовсталь"	7	1	Б	620	712	80	12
		2	Б	565	722	55	10
		3	Б	610	595	112	30
		4	Б	530	615	80	20
		5	Б	455	630	75	15
		6	Б	385	642	70	12
		7	1	540	410	102	25

1	:	2	:	3	4	5	:	6	:	7	:	8
/рельсовая/				8	1	450		428		90		18
				9	1	370		435		80		7
				10	Б	295		449		75		14
				11	П	360		317		89		22
				12	П	272		380		88		13
				13	П	274		285		56		13
				0	-	310		680		-		-
				1	Б	710		680		100		-
				2	Б	640		680		70		-
				3	Б	630		645		50		5
				4	Б	580		650		50		5
				5	Б	530		660		50		10
				6	Б	400		670		130		10
				7	Б	440		680		40		10
НТМЗ	8			8	Б	400		690		40		10
/рельсовая/				9	1	630		410		60		10
				10	1	550		420		80		10
				11	1	470		430		80		10
				12	1	40		440		70		10
				13	П	360		410		80		10
				14	-	300		420		60		10
				15	П	300		32		12		10
				0	-	760		680		-		-
				1	Б	650		680		110		-
				2	Б	580		680		70		-
				3	Б	585		585		95		5
				4	Б	595		595		60		10
				5	Б	460		605		65		10
				6	Б	400		615		60		10
ММК	9			7	1	520		420		95		20
/конструкционная/				8	1	470		435		100		15

1	2	3	4	5	6	7	8
Макеевский /конструк- ционный/	10	9	1	370	430	65	10
		10	1	295	440	75	10
		11	П	285	325	60	10
		12	П	285	325	60	10
		13	Ш	300	290	25	5
		0	-	720	720	-	-
		1	Б	660	720	60	-
		2	Б	600	720	60	-
		3	Б	660	600	60	-
		4	Б	600	600	60	-
		5	Б	540	610	60	10
		6	Б	480	620	60	10
		7	Б	420	630	60	10
		8	Б	380	640	40	10
		9	1	560	380	80	-

Б - прокатка на бочке.

КАЛИБРОВКА ВАЛКОВ 1 ГРУППЫ НЕПРЕРЫВНО-
ЗАГОТОВОЧНОГО СТАНА

1 вариант

Исходные данные:

1. Исходная заготовка - блум Φ 240 мм;
2. Конечное сечение заготовки Φ 120 мм;
3. Предусмотреть прокатку Φ 150 мм;
4. Номинальный диаметр валков $D_0 = 640$ мм;
5. Числа оборотов валков n по клетям :

$$n_1 = 17,4 \text{ об/мин}$$

$$n_4 = 31,6 \text{ об/мин}$$

$$n_2 = 24,0 \text{ об/мин}$$

$$n_5 = 38,4 \text{ об/мин}$$

$$n_3 = 26,2 \text{ об/мин}$$

$$n_6 = 48,0 \text{ об/мин}$$

6. Коэффициент натяжения

$$K = 1,01 + 1,03;$$

принимаем $K = 1,015$;

7. Коэффициент, учитывающий закругления углов калибров, принимаем

$$K' = 0,98;$$

8. Коэффициент ограничения уширения во всех клетях, за исключением первой / где $K'' = 1,0 /$, принимаем

$$K'' = 0,7$$

Выбираем предварительную схему калибровки в соответствии с рис. 6

Расчет ведем против хода прокатки.

Расчет констант для всех клетей

Константа определяется по формулам:

a/ для Y1 клети: $K_6 = K' q_6 D_{k_6} n_6$;

где: q_6 - площадь поперечного сечения раската, выхо-

дящего из У1 клети;

D_{k_6} - катающий диаметр валков У1 клети

$$D_{k_6} = D_0 - \frac{h_6}{2};$$

$$D_{k_6} = 640 - \frac{120 + 1,41}{2} = 640 - \frac{170}{2} = 555 \text{мм};$$

$$K_6 = 0,98 \cdot 120 \cdot 120 \cdot 555 \cdot 48 = 375 \cdot 10^6$$

б/ для остальных клетей: $K_{n-1} = \frac{K_n}{K}$

$$K_5 = \frac{375 \cdot 10^6}{1,015} = 370 \cdot 10^6;$$

$$K_4 = \frac{370 \cdot 10^6}{1,015} = 365 \cdot 10^6;$$

$$K_3 = \frac{365 \cdot 10^6}{1,015} = 360 \cdot 10^6;$$

$$K_2 = \frac{360 \cdot 10^6}{1,015} = 355 \cdot 10^6;$$

$$K_1 = \frac{355 \cdot 10^6}{1,015} = 350 \cdot 10^6$$

Расчет шестой и пятой клетей

Высота У1 калибра

$$h_6 = 1,41 \quad C_6 = 1,41 \cdot 120 = 170 \text{ мм}$$

Ширина У1 калибра

$$b_6 = h_6 = 170 \text{ мм}$$

Площадь поперечного сечения У1 калибра

$$q_6 = 0,98 \cdot 120 \cdot 170 = 14100 \text{ мм}^2$$

Общий краэффицент вытяжки в У и У1 калибрах

$$\beta_{5-6} = \frac{150 \cdot 150}{120 \cdot 120} = 1,56$$

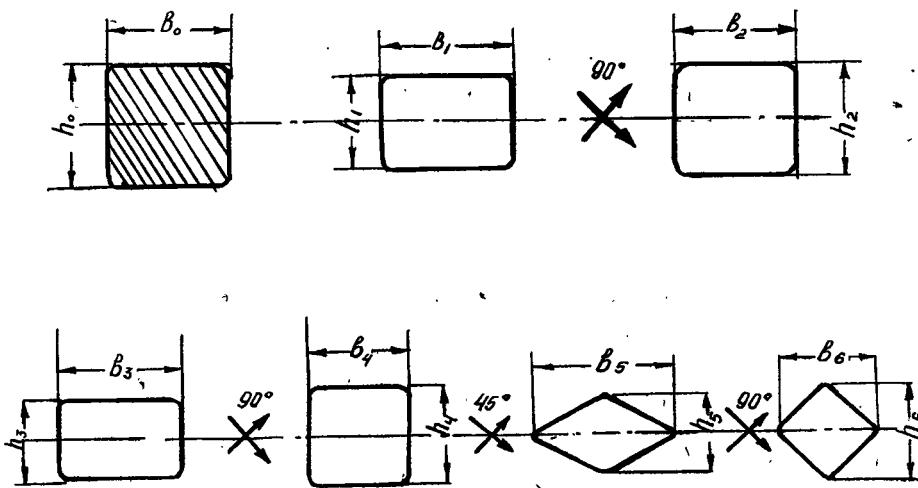
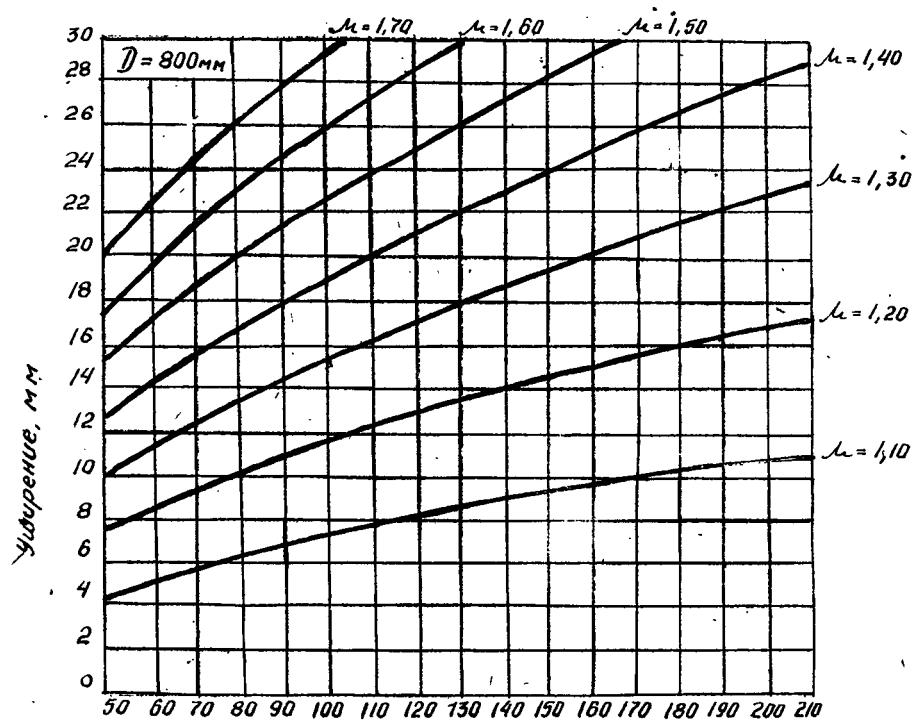
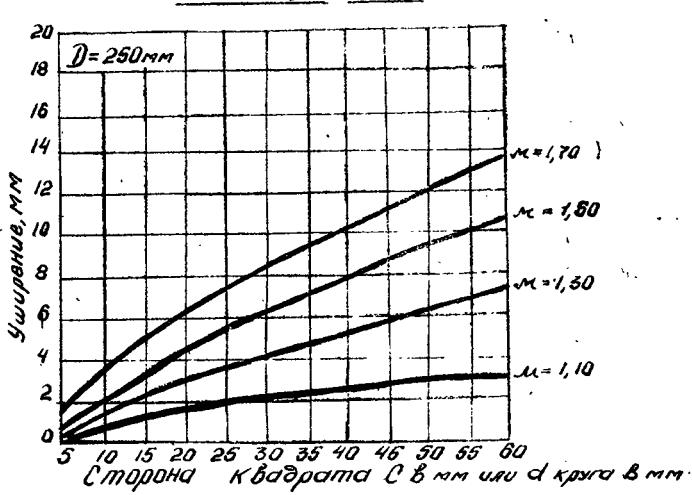
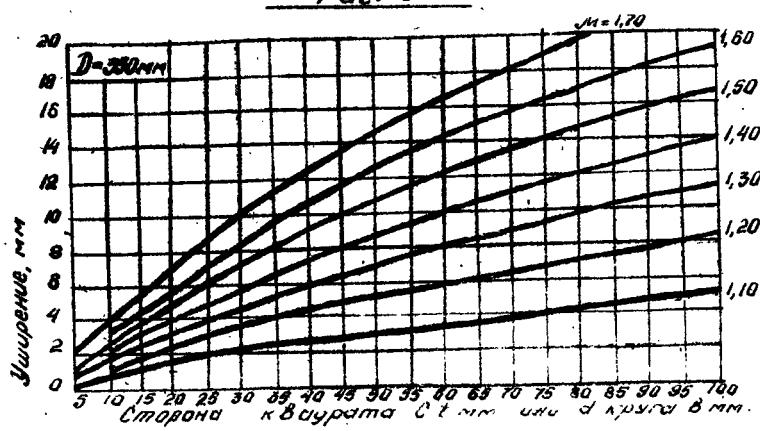
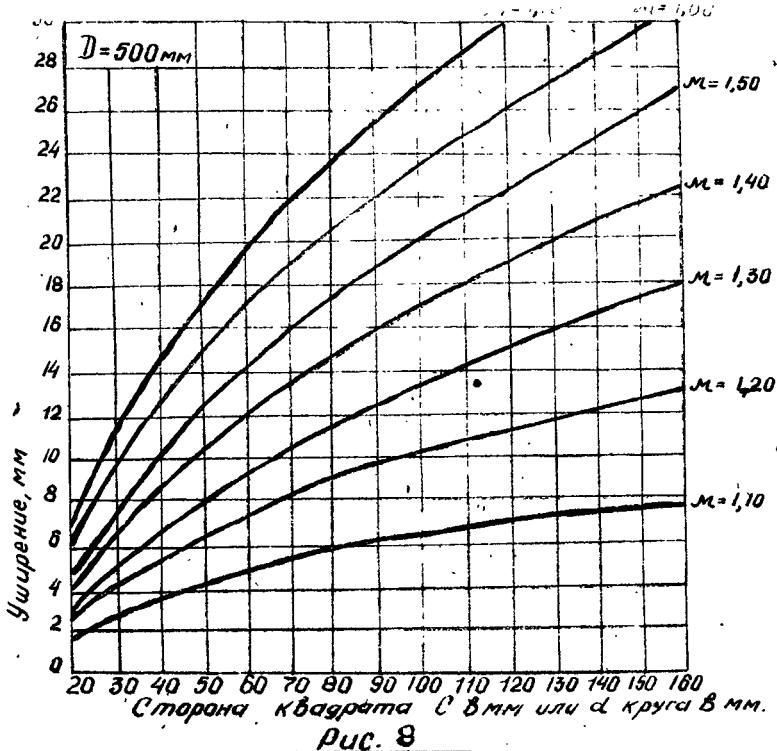


Рис. 6



Сторона квадрата С в мм или диаметр в мм.

Рис. 7



Принимаем равномерное распределение вытяжек между У и У1 клетями

$$\mu_5 = \mu_6 = \sqrt{\mu_{5-6}} = \sqrt{1,56} = 1,25.$$

Площадь поперечного сечения полосы после У калибра

$$q = q \cdot \mu_6 = 14100 \cdot 1,25 = 17600 \text{ мм}^2$$

Для определения высоты У калибра h_5 необходимо знать уширение ромба в квадратном калибре /У1/.

Уширение находим из графика зависимости уширения от коэффициента вытяжки и стороны квадрата. Такие графики /рис.7-10/ имеются для четырех станов, с диаметрами валков 800, 500, 350 и 250 мм. Звиду того, что графика ~~для~~ стана "640" нет, определяем уширение при $D = 800 \text{ мм}$ - $\Delta b = 15 \text{ мм}$ и при $D = 500 \text{ мм}$ - $\Delta b = 13 \text{ мм}$. Интерполируя получаем искомое уширение

$$\Delta b_6 = 14 \text{ мм.}$$

Высота пятого калибра

$$h_5 = b_6 - \Delta b_6;$$

$$h_5 = 170 - 14 = 156 \text{ мм}$$

Ширина пятого /ромбического/ калибра

$$b_5 = \frac{2q_5}{h_5} = \frac{2 \cdot 17600}{156} = 226 \text{ мм}$$

Обжатие в шестом калибре:

$$\Delta h_6 = b_5 - h_6;$$

$$\Delta h_6 = 226 - 170 = 56 \text{ мм}$$

Обжатие в пятом калибре

$$\Delta h_5 = 1,41 C_4 - h_5;$$

$$\Delta h_5 = 1,41 \cdot 150 - 156 = 56 \text{ мм}$$

Уширение в пятом калибре

$$\Delta b_5 = b_5 - 1,41 c_4 ;$$

$$\Delta b_5 = 226 - 1,41 \cdot 150 = 14 \text{ мм}$$

Катающий диаметр валков пятой клети

$$D_{K_5} = \frac{K_5}{q_5 \cdot n_5} = \frac{370 \cdot 10^6}{17600 \cdot 38,4} = 547 \text{ мм}$$

Номинальный диаметр валков пятой клети

$$D_{o_5} = D_{K_5} + \frac{h_o}{2} = 547 + \frac{156}{2} = 625 \text{ мм}$$

Угол захвата в шестой клети

$$\alpha_6 = \arccos \left(1 - \frac{\Delta h_6}{D_{6 \min}} \right) ;$$

где $D_{6 \min}$ - диаметр валка по месту наибольшего
бреза ручья. $D_{6 \min} = D_{o_6} - h_o$;

$$\alpha_6 = \arccos \left(1 - \frac{56}{640 - 170} \right) = 28^{\circ}15'$$

Угол захвата в пятой клети

$$\alpha_5 = \arccos \left(1 - \frac{56}{625 - 256} \right) = 28^{\circ}08'$$

Расчет ящичных калибров 1 - 1У клетей

Четвертая клеть

Площадь поперечного сечения

$$q_4 = 0,98 \quad C^2 = 0,98 \cdot 150^2 = 22000 \text{ мм}^2$$

Катающий диаметр

$$D_{K_4} = \frac{K_4}{q_4 \cdot n_4} = \frac{365 \cdot 10^6}{22000 \cdot 31,6} = 524 \text{ мм}$$

Номинальный диаметр

$$D_{04} = D_{K4} + h_4 = 524 + 150 = 674 \text{ мм}$$

Принимаем угол захвата $\alpha_4 = 26^\circ = 0,46 \text{ рад.}$

$$\cos 26^\circ = 0,899$$

Обжатие

$$\Delta h_4 = D_{K4} (1 - \cos \alpha);$$

$$\Delta h_4 = 524 (1 - 0,899) = 53 \text{ мм}$$

Высота задаваемого в калибр раската

$$H_4 = h_4 + \Delta h_4 = 150 + 53 = 203 \text{ мм}$$

Ширина раската

$$b_4 = c_4 = 150 \text{ мм.}$$

Уширение определим по формуле А.П.Чекмарева

Принимаем $b_{cp4} = 145 \text{ мм.}$

$$\Delta b = \frac{2b_{cp}(H-h) \cdot k''}{(H+h) \left[1 + (1+\alpha) \left(\frac{b_{cp}}{R\alpha} \right)^n \right]},$$

$$\Delta b_4 = \frac{2 \cdot 145 \cdot 53 \cdot 0,7}{(203+150) \left[1 + (1+0,46) \left(\frac{145}{262 \cdot 0,46} \right)^2 \right]} = 9,77 \text{ мм} \approx 10 \text{ мм}$$

Третья клеть

Принимаем угол захвата $\alpha = 28^\circ = 0,49 \text{ рад.}$

$$\cos 28^\circ = 0,883$$

Высота полосы

$$h_3 = b_4 - \Delta b_4 = 150 - 10 = 140 \text{ мм}$$

Ширина полосы

$$b_3 = H_4 = 203 \text{ мм.}$$

Площадь поперечного сечения

$$q_3 = b_3 \cdot h_3 \cdot k' = 140 \cdot 203 \cdot 0,98 = 27860 \text{ мм}^2$$

Коэффициент вытяжки в 1У клети

$$\mu_4 = \frac{q_3}{q_4} = \frac{27860}{23000} = 1,22$$

Катающий диаметр

$$D_{K3} = \frac{360 \cdot 10^6}{27860 \cdot 2,2} = 495 \text{ мм}$$

Номинальный диаметр

$$D_{03} = 495 + 140 = 635 \text{ мм}$$

Обжатие

$$\Delta h_3 = 495 (1 - 0,883) = 57 \text{ мм}$$

Высота раската, задаваемого в калибр

$$H_3 = h_3 + \Delta h_3 = 140 + 57 = 197 \text{ мм}$$

для расчета уширения принимаем $b_{cp_3} = 198 \text{ мм}$

$$\Delta b_3 = \frac{2 \cdot 198 \cdot 57 \cdot 0,7}{(197+140) \left[1 + (1+0,49) \left(\frac{198}{248 \cdot 0,49} \right)^2 \right]} = 9,45 \text{ мм};$$

принимаем $\Delta b_3 = 9 \text{ мм.}$

Вторая клеть

Принимаем угол захвата $\alpha_2 = 30^\circ = 0,52 \text{ рад.}$

$$\cos 30^\circ = 0,866$$

Высота полосы

$$h_2 = H_3 = 197 \text{ мм}$$

Ширина полосы

$$b_2 = b_3 - \Delta b_3 = 203 - 9 = 194 \text{ мм}$$

Площадь поперечного сечения

$$q_2 = 197 \cdot 194 \cdot 0,98 = 37450 \text{ мм}^2$$

Коэффициент вытяжки в третьем калибре

$$\mu_3 = \frac{37450}{27860} = 1,345$$

Катающий диаметр

$$D_{k2} = \frac{355 \cdot 10^6}{37450 \cdot 24} = 395 \text{ мм}$$

Номинальный диаметр

$$D_{o2} = 395 + 197 = 592 \text{ мм}$$

Обжатие

$$\Delta h_2 = 395 (1 - 0,866) = 53 \text{ мм}$$

Высота раската, задаваемого во II калибр

$$H_2 = 197 + 53 = 250 \text{ мм}$$

Для расчета уширения принимаем $b_{cp_2} = 191 \text{ мм}$

$$\Delta b_2 = \frac{2 \cdot 191 \cdot 53 \cdot 8,7}{(250+197) \left[1 + (1+0,52) \left(\frac{191}{197,5,0,52} \right)^2 \right]} = 5,05 \text{ мм} \approx 5 \text{ мм}$$

Первая клеть

Высота полосы

$$h_1 = b_2 - \Delta b_2 = 194 - 5 = 189 \text{ мм}$$

Ширина полосы

$$b_1 = H_2 = 250 \text{ мм}$$

Площадь поперечного сечения

$$q_1 = 189 \cdot 250 \cdot 0,98 = 46300 \text{ мм}^2$$

Коэффициент вытяжки во II клети

$$\mu_2 = \frac{46300}{37450} = 1,235$$

Коэффициент вытяжки в 1 клети

$$\mu_1 = \frac{240 \cdot 240}{46300} = 1,27$$

Катающий диаметр

$$D_{k1} = \frac{350 \cdot 10^6}{46300 \cdot 17,4} = 435 \text{ мм}$$

Номинальный диаметр

$$D_0 = 435 + 189 = 624 \text{ мм}$$

Обжатие

$$\Delta h_1 = 240 - 189 = 51 \text{ мм}$$

Угол захвата

$$\alpha_1 = \arccos \left(1 - \frac{51}{435} \right) = 28^\circ; \quad \alpha_1 = 0,489 \text{ рад.}$$

Предполагаем уширение

$$\Delta b_1 = 8 \text{ мм}$$

Расчетное уширение

$$\Delta b = \frac{2 \cdot 246 \cdot 51}{(240+189) \left[1 + (1+0,489) \left(\frac{246}{217,5+0,489} \right)^2 \right]} = 6,54 \text{ мм} \approx 7 \text{ мм}$$

Ширина заготовки

$$b_0 = 250 - 7 = 243 \text{ мм.}$$

Корректировка калибровки 1 и П клети

Полученные нами размеры отличаются от заданных. Задан блум сечением 240 x 240 мм, а в результате расчета получили заготовку сечением 240 x 243 мм. Для того, чтобы ликвидировать эту неувязку необходимо изменить размеры раската, поступающего во П клеть /выходящего из 1 клети/. Для корректировки воспользуемся формулами, позволяющими определить размеры калибра, когда известны размеры раската, поступаю-

шего в данный калибр, и размеры последующего калибра /рис.11/
В наших обозначениях формулы имеют следующий вид:

$$h_1 = \frac{b_2 - K_2(b_0 + K_1 h_0 - h_1)}{1 - K_1 K_2}$$

$$b_1 = b_0 + K(h_0 - h_1);$$

где h_1 - высота раската, выходящего из 1 клети /после корректировки/

b_1 - ширина раската, выходящего из 1 клети /после корректировки/

K_1 и K_2 - коэффициенты уширения в 1 и II клетях.

$$K_1 = \frac{\Delta b_1}{\Delta h_1} = \frac{6,54}{51} = 0,128$$

$$K_2 = \frac{\Delta b_2}{\Delta h_2} = \frac{5,0}{53} = 0,0954$$

Высота раската

$$h_1 = \frac{194 - 0,0954 (240 + 0,128 \cdot 240 - 197)}{1 - 0,0954 \cdot 0,128} = 189 \text{ мм}$$

Ширина раската

$$b_1 = 240 + 0,128 (240 - 189) = 246 \text{ мм}$$

Площадь поперечного сечения раската

$$q_1 = 0,98 \cdot 189 \cdot 246 = 45500 \text{ мм}^2$$

Катающий диаметр валков 1 клети

$$D_{K_1} = \frac{350 \cdot 10^6}{45500 \cdot 17,4} = 442 \text{ мм};$$

Номинальный диаметр

$$D_0 = 442 + 189 = 631 \text{ мм}$$

Обжатие в 1 клети

$$\Delta h_1 = 240 - 189 = 51 \text{ мм}$$

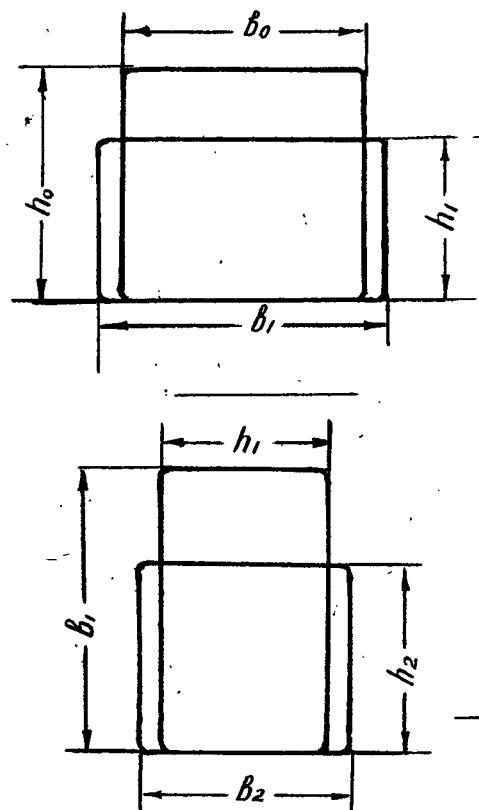
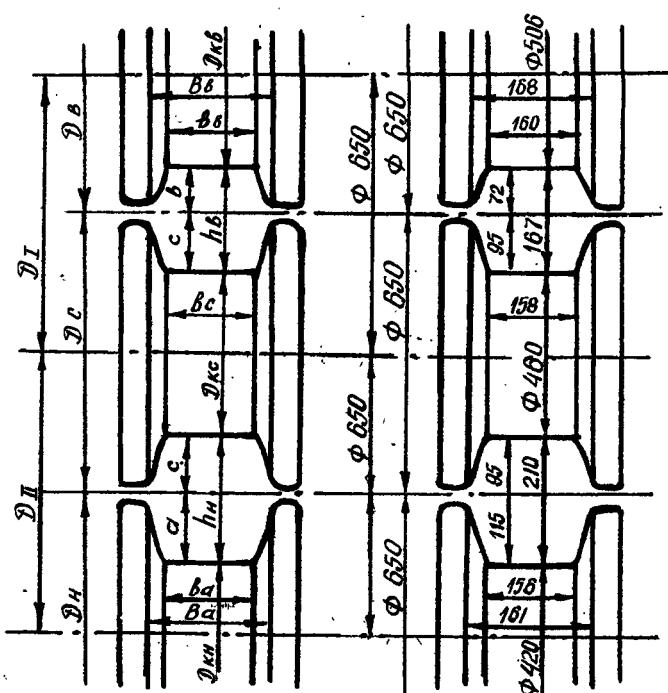


Рис. 11



Сопряженные
калибры.

Пример:
III и IV калибры.

Рис. 13

Уширение в I клети

$$\Delta b_1 = 246 - 240 = 6 \text{ мм}$$

Угол захвата

$$\alpha_1 = \arccos \left(1 - \frac{51}{442} \right) = \arccos 0,3846 = 27^{\circ}48'$$

Коэффициент вытяжки

$$\mu_1 = \frac{240 \cdot 240 \cdot 0,93}{45500} = 1,24$$

Сделаем корректировку расчета II клети, где изменяются величины обжатия, уширения, угла захвата и коэффициента вытяжки.

Обжатие во II клети:

$$\Delta h_2 = b_1 - h_2 = 246 - 197 = 49 \text{ мм}$$

Уширение после корректировки изменяется пропорционально изменению обжатия.

До корректировки было:

обжатие 53 мм - уширение 5 мм

После корректировки:

обжатие 49 мм - уширение Δb_2

$$\Delta b_2 = \frac{49}{53} \cdot 5 = 4,6 \text{ мм} \approx 5 \text{ мм}$$

Проверяем:

$$\Delta b_2 = b_2 - h_1 = 194 - 189 = 5 \text{ мм}$$

Угол захвата

$$\alpha_2 = \arccos \left(1 - \frac{45}{395} \right) = 23^{\circ}43'$$

Коэффициент вытяжки

$$\mu_2 = \frac{45500}{37450} = 1,22$$

Полученные расчетные данные сводим в таблицу калибровки.

Таблица калибровки непрерывно-заготовочного стана "640"

Таблица 8.

Нар.:	Форма:	Размеры	Обжатие	Уширение	Катающ:	Номинал:	Угол:	Коэффиц.
прокалеб:		мм:		мм:	диаметр линий зазх-	вытесн.		
ров:		h:	b:	dh	мм:	db	мм:	диам. вата ки
							до	мм: α : μ
Заготовка	-240	240	-	-	-	-	-	-
1 Ящичный	180	246	51	6	442	631	27°48'	1,24
2 "	197	194	49	5	395	592	28°48'	1,22
3 "	140	203	57	9	495	635	28°	1,345
4 "	150	150	53	10	524	674	26°	1,22
5 Ромб	156	226	56	14	547	625	28°08'	1,25
6 Квадрат	170	170	56	14	555	640	28°15'	1,25

Калибровка валков 1 группы непрерывно-заготовочного стана

/I вариант/

Исходные данные

1. Исходная заготовка - блум ϕ 240 мм;
2. Конечное сечение заготовки ϕ 120 мм;
3. Предусмотреть прокатку ϕ 150 мм;
4. Номинальный диаметр валков $D_o = 640$ мм;
5. Числа оборотов валков n по клетям:

$$\begin{array}{ll} n_1 = 17,4 \text{ об/мин} & n_4 = 31,6 \text{ об/мин} \\ n_2 = 24,0 & " \\ n_3 = 26,2 & n_5 = 38,4 \\ & " \\ & n_6 = 48,0 \end{array}$$

6. Коэффициент натяжения

$$K = 1,01 + 1,03$$

принимаем $K = 1,015$;

7. Коэффициент, учитывающий закругления углов калибров, принимаем

$$K' = 0,98 ;$$

8. Коэффициент ограничения уширения во всех клетях, за исключением первой /где $K'' = 1,0/$, принимаем

$$K'' = 0,7$$

Выбираем предварительную схему калибровки в соответствии с рис.6.

Расчет ведем по ходу прокатки.

Расчет констант для всех клетей

Константа определяется по формулам:

$$a/ \text{для } Y_1 \text{ клети: } K_e = K' \cdot Q_{Y_6} \cdot D_{K_6} \cdot n_6 ;$$

где Q_{Y_6} - площадь поперечного сечения раската, выходящего из Y_1 клети;

$$D_{K_6} - \text{катоющий диаметр валков } Y_1 \text{ клети } D_{K_6} = D_o - \frac{h_6}{2} ;$$

$$D_{K_6} = 640 - \frac{120 \cdot 1 \cdot 41}{2} = 640 - \frac{170}{2} = 555 \text{ мм};$$

$$K_6 = 0,98 \cdot 120 \cdot 120 \cdot 555 \cdot 48 = 375 \cdot 10^6$$

б/ для остальных клетей:

$$K_{n+1} = \frac{K_n}{\kappa};$$

$$K_5 = \frac{375 \cdot 10^6}{1,015} = 370 \cdot 10^6;$$

$$K_4 = \frac{370 \cdot 10^6}{1,015} = 365 \cdot 10^6;$$

$$K_3 = \frac{365 \cdot 10^6}{1,015} = 360 \cdot 10^6;$$

$$K_2 = \frac{360 \cdot 10^6}{1,015} = 355 \cdot 10^6;$$

$$K_1 = \frac{355 \cdot 10^6}{1,015} = 350 \cdot 10^6$$

Расчет ящичных калибров 1 - 1У клетей

В ящичных калибрах прокатывается блум Φ 240 мм до заготовки Φ 150 мм.

Полное /общее/ обжатие по стороне Н равно полному обжатию по стороне В /рис. 1/:

$$\Delta h_N = \Delta h_B = h_0 - h_4 + K_c (b_0 - b_4);$$

$$\Delta h_N = \Delta h_B = 240 - 150 + 0,2 /240 - 150/ = 108 \text{ мм}$$

По стороне Н предусмотрено 2 прохода /рис.6/, т.е. обжатие за проход равно:

$$\Delta h = 108 : 2 = 54 \text{ мм}$$

По стороне В также 2 прохода с такими же обжатиями
Первая клеть

Размеры задаваемого профиля:

высота $h_0 = 240 \text{ мм};$

ширина $b_0 = 240 \text{ мм};$

обжатие $\Delta h_1 = 54 \text{ мм}$

Размеры выходящего профиля:

высота

$$h_i = h_0 - \Delta h_i = 240 - 54 = 186 \text{ мм}$$

Задаемся уширением

$$\Delta b_i = 7 \text{ мм}$$

Ширина полосы

$$b_i = 240 + 7 = 247 \text{ мм}$$

Катающий диаметр

$$D_k = \frac{K_i}{K' \cdot h_i \cdot b_i \cdot \eta_i} = \frac{350 \cdot 10^6}{0,98 \cdot 186 \cdot 247 \cdot 17,4} = 440 \text{ мм}$$

Номинальный диаметр

$$D_0 = 440 + 186 = 626 \text{ мм}$$

Угол захвата

$$\alpha_i = \arccos \left(1 - \frac{\Delta h_i}{D_k} \right);$$

$$\alpha_i = \arccos / 1 - \frac{54}{440} / = 28^\circ 35';$$

$$\alpha_i = 0,5 \text{ рад.}$$

Длина дуги захвата

$$R_i \alpha_i = 220 \cdot 0,5 = 110 \text{ мм}$$

Уширение определяем по формуле А.П.Чекмарева

$$\Delta b_i = \frac{2b_i(H-h) \cdot K''}{(H+h) \left[1 + (1+\alpha) \left(\frac{b_i}{R\alpha} \right)^n \right]};$$

$$\Delta b_i = \frac{2 \cdot 243,5 \cdot 54 \cdot 1,0}{240+186 / \left[1 + 1 + 0,5 / \sqrt{243,5/2} \right]} = 7,4 \text{ мм}$$

Коэффициент вытяжки

$$\mu_i = \frac{240 \cdot 240 \cdot 0,98}{186 \cdot 247 \cdot 0,98} = 1,25$$

Вторая клеть

Размеры задаваемого профиля:

$$\text{высота } H_2 = b_1 = 247 \text{ мм}$$

$$\text{ширина } B_2 = h_1 = 186 \text{ мм}$$

$$\text{обжатие } \Delta h_2 = 54 \text{ мм}$$

Размеры выходящего профиля:

$$\text{высота } h_2 = 247 - 54 = 193 \text{ мм}$$

Задаемся уширением

$$\Delta b_2 = 5 \text{ мм}$$

Ширина полосы

$$b_2 = 186 + 5 = 191 \text{ мм}$$

Катающий диаметр

$$D_{k2} = \frac{355 \cdot 10^6}{2 \cdot 193 \cdot 191 \cdot 0,98 \cdot 24} = 405 \text{ мм}$$

Номинальный диаметр

$$D_{02} = 405 + 193 = 598 \text{ мм}$$

Угол захвата

$$\alpha_2 = \arccos \left(1 - \frac{54}{405} \right) = 29^\circ$$

$$\alpha_2 = 0,505 \text{ рад.}$$

Длина дуги захвата

$$R_2 \alpha_2 = 202,5 \cdot 0,505 = 102 \text{ мм}$$

Уширение проверяем по формуле:

$$\Delta b_2 = \frac{2 \cdot 188 \cdot 54 \cdot 0,7}{(247+193) \cdot 1 + (1+0,505) \cdot \frac{188}{102}^2} = 5,27 \text{ мм}$$

Коэффициент вытяжки

$$\mu_2 = \frac{186 \cdot 247 \cdot 0,98}{193 \cdot 191 \cdot 0,98} = 1,25$$

Третья клеть

Размеры задаваемого профиля:

$$\text{высота } H_3 = h_2 = 193 \text{ мм}$$

ширина $B_3 = b_2 + 191$ мм

обжатие $\Delta h_3 = 54$ мм

Размеры выходящего профиля:

высота $h_3 = 193 - 54 = 139$ мм

Задаемся уширением $\Delta b_3 = 8$ мм

Ширина полосы $b_3 = 191 + 8 = 199$ мм

Катающий диаметр

$$D_{K_3} = \frac{360 \cdot 10^6}{139 \cdot 199 \cdot 0,98 \cdot 26,2} = 506 \text{ мм}$$

Номинальный диаметр

$$D_{O_3} = 500 + 139 = 645 \text{ мм}$$

Угол захвата

$$\alpha_3 = \arccos /1 - \frac{54}{500} / = 26,7^\circ$$

$$\alpha_3 = 0,467 \text{ рад.}$$

Длина дуги захвата

$$R_3 \alpha_3 = 250 \cdot 0,467 = 116,5 \text{ мм}$$

Уширение проверяем по формуле:

$$\Delta b_3 = \frac{2 \cdot 195 \cdot 54 \cdot 0,7}{193+139 / \left[1 + /1+0,467 / / \frac{195}{116,5} / ^2 \right]} = 8,7 \text{ мм}$$

Коэффициент вытяжки

$$\mu_3 = \frac{193 \cdot 191}{139 \cdot 199} = 1,33$$

Четвертая клеть

Размеры задаваемого профиля:

высота $H_4 = b_4 = 199$ мм

ширина $B_4 = h_4 = 139$ мм

обжатие $\Delta h_4 = 54$ мм

Размеры выходящего профиля:

$$\text{высота } h_4 = 199 - 54 = 145 \text{ мм}$$

Задаемся уширением

$$\Delta b_4 = 10 \text{ мм}$$

$$\text{Ширина полосы } b_4 = 139 + 10 = 149 \text{ мм}$$

Катающий диаметр

$$D_{k4} = \frac{365 \cdot 10^6}{145 \cdot 148 \cdot 0,98 \cdot 31,6} = 545 \text{ мм}$$

Номинальный диаметр

$$D_{o4} = 520 + 145 = 690 \text{ мм}$$

Угол захвата

$$\alpha_4 = \arccos \left(1 - \frac{54}{520} \right) = 25^\circ \quad \alpha_4 = 0,444 \text{ рад.}$$

Длина дуги захвата

$$R_4 \alpha = 260 \cdot 0,444 = 115,5 \text{ мм}$$

Проверяем уширение по формуле

$$\Delta b_4 = \frac{2 \cdot 144 \cdot 54 \cdot 0,7}{(199+145) \left[1 + (1+0,444) \left(\frac{144}{115,5} \right)^2 \right]} = 9,75 \text{ мм}$$

Коэффициент вытяжки

$$M_4 = \frac{139 \cdot 199}{145 \cdot 149} = 1,28$$

Полученные расчетные данные сводим в предварительную таблицу калибровки /табл.9/

Таблица 3.

№ кле- тей	Размеры		Обжатие Δh , мм	Уширение Δb , мм	Катающий диаметр D_k мм
	h , мм	b , мм			
0	240	240	-	-	-
1	186	247	54	7	440
2	193	191	54	5	405
3	139	199	54	8	506
4	145	149	54	10	545

Вместо нужного нам сечения раската, выходящего из 1У клети - 150 x 150 мм в результате расчета получено сечение 145 x 149 мм

Делаем корректировку так же, как при калибровке блуминга /см.стр. 19 /

Считая, что из 1У калибра выходит сечение 150 x 150 мм а ширина b_3 , остается прежней, пересчитываем обжатие, уширение, катящий и номинальный диаметры, угол захвата и коэффициент вытяжки.

В третьем калибре изменяем на 2 мм обжатие.

Расчет шестой и пятой клетей

Высота У1 калибра

$$h_6 = 1,41 \quad C_6 = 1,41 \cdot 120 = 170 \text{ мм}$$

Ширина У1 калибра

$$b_6 = h_6 = 170 \text{ мм.}$$

Площадь поперечного сечения У1 калибра

$$q_{16} = 0,98 \cdot 120 \cdot 120 = 14100 \text{ мм}^2$$

Общий коэффициент вытяжки в У и У1 калибрах

$$\mu_{5-6} = \frac{150 \cdot 150}{120 \cdot 120} = 1,56$$

Принимаем равномерное распределение вытяжек между У и У1 клетями.

$$\mu_5 = \mu_6 - \sqrt{\mu_{5-6}} = \sqrt{1,56} = 1,25.$$

Площадь поперечного сечения полосы после У калибра

$$q_5 = q_{16} \cdot \mu_6 = 14100 \cdot 1,25 = 17600 \text{ мм}^2$$

Для определения высоты У калибра h_5 необходимо знать уширение ромба в квадратном калибре /У1/.

Уширение находим из графика зависимости уширения от коэффициента вытяжки и стороны квадрата. Такие графики /рис.7-10/ имеются для четырех станов, с диаметрами валков 800, 500, 350 и 250 мм.

Ввиду того, что графика для стана "640" нет, определяем уширение при $D = 800$ мм - $\Delta b = 15$ мм и при $D = 500$ - $\Delta b = 13$ мм Интерполярия, получаем искомое уширение.

$$\Delta b_0 = 14 \text{ мм}$$

Высота пятого калибра

$$h_5 = b_0 - \Delta b_0;$$

$$h_5 = 170 - 14 = 156 \text{ мм};$$

Ширина пятого /ромбического/ калибра

$$b_5 = \frac{29_5}{h_5} = \frac{2 \cdot 17600}{156} = 226 \text{ мм}$$

Обжатие в шестом калибре

$$\Delta h_6 = b_5 - h_5 = 226 - 170 = 56 \text{ мм}$$

Обжатие в пятом калибре:

$$\Delta h_5 = 1,41 \cdot C_4 - h_5 = 1,41 \cdot 150 - 156 = 56 \text{ мм.}$$

Уширение в пятом калибре:

$$\Delta b_5 = b_5 - 1,41 C_4 = 226 - 1,41 \cdot 150 = 14 \text{ мм}$$

Катающий диаметр валков пятой клети

$$D_{k_5} = \frac{K_5}{q_5 \cdot n_5} = \frac{370 \cdot 10^6}{17600 \cdot 38,4} = 547 \text{ мм}$$

Номинальный диаметр валков пятой клети

$$D_5 = D_{k_5} + \frac{h_5}{2} = 547 + \frac{156}{2} = 625 \text{ мм}$$

Угол захвата в шестой клети

$$\alpha_6 = \arccos \left(1 - \frac{\Delta h_6}{D_{6\min}} \right);$$

где: $D_{6\min}$ - диаметр валка по месту наибольшего вреза ручья

$$D_{6\min} = D_6 - h_6;$$

$$\alpha_6 = \arccos \left(1 - \frac{56}{640 - 170} \right) = 28^\circ 15'$$

Угол захвата в пятой клети

$$\alpha_5 = \arccos / 1 - \frac{56}{625 - 156} / = 28^{\circ}08'$$

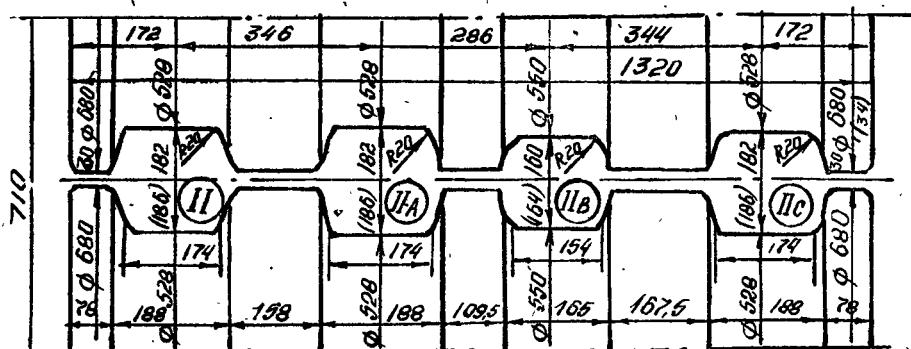
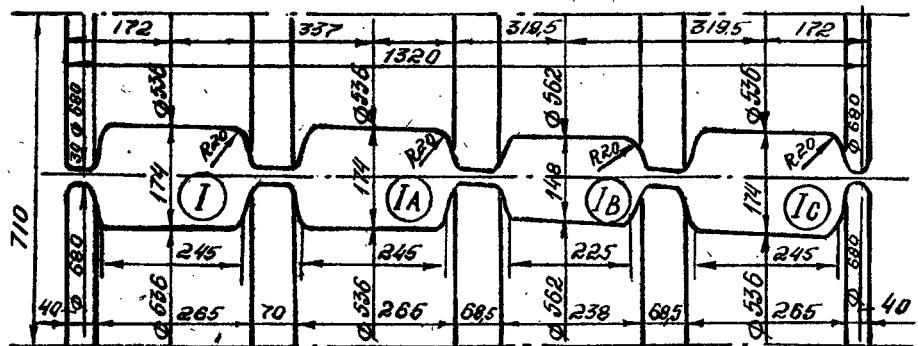
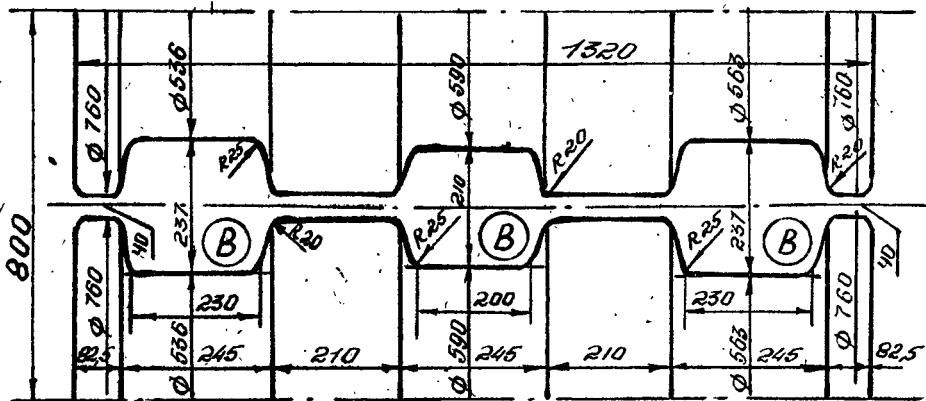
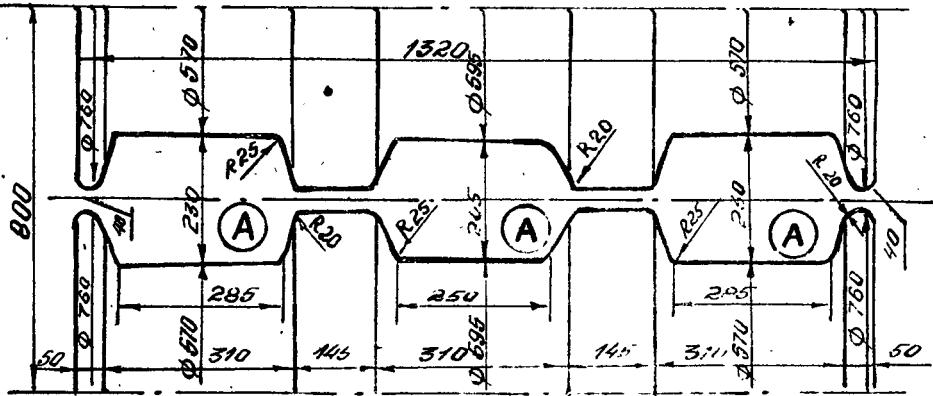
Полученные данные сводим в окончательную таблицу калибровки

Таблица калибровки непрерывно-заготовочного стана "640"

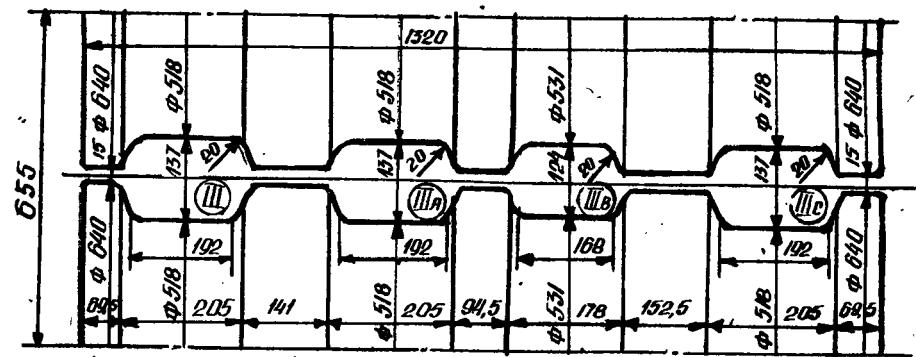
Таблица 10.

№ прох. калиб- ра	Форма	Размер	Обжа- тие	Уши- ре- ющий	Ката- нальн	Номи- нальн	Угол: Коэф.	Зах- ват	Вытяж-
		h , мм	b , мм	Δh , мм	46 мм	D_K мм	D_o мм	α μ	
	Заготовка	240	240	-	-	-	-	-	-
1	Ящичный	186	247	54	7	440	626	$28^{\circ}35'$	1,25
2	"	193	191	54	5	405	598	29°	1,25
3	"	141	199	52	8	499	640	$26^{\circ}45'$	1,32
4	"	150	150	49	9	524	674	$25^{\circ}15'$	1,24
5	Ромб	156	226	56	14	547	625	$28^{\circ}08'$	1,25
6	квадрат	170	170	56	14	555	640	$28^{\circ}15'$	1,25

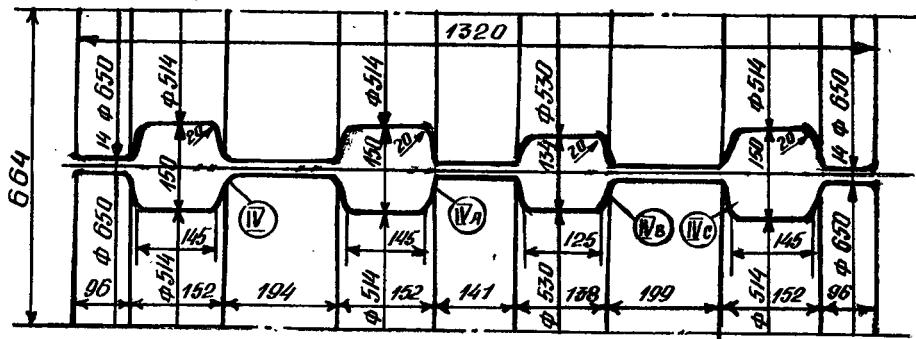
На рис. 12 приведена калибровка рабочих валков непрерывно-заготовочного стана 630/450 одного из заводов.



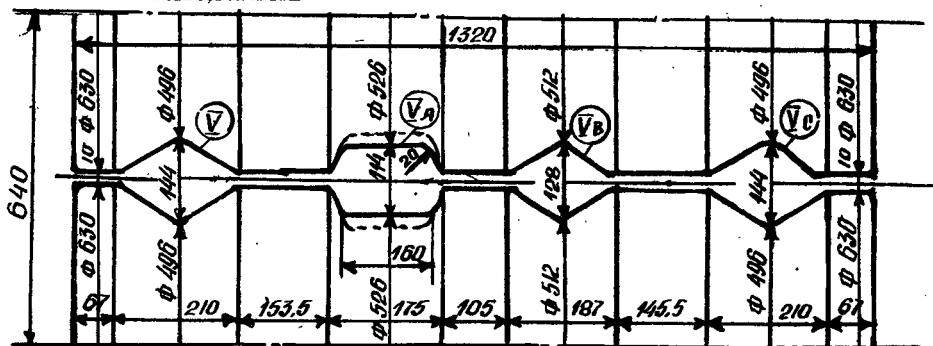
3-я клеть



4-ая клеть



5-ая клеть



6-ая клеть

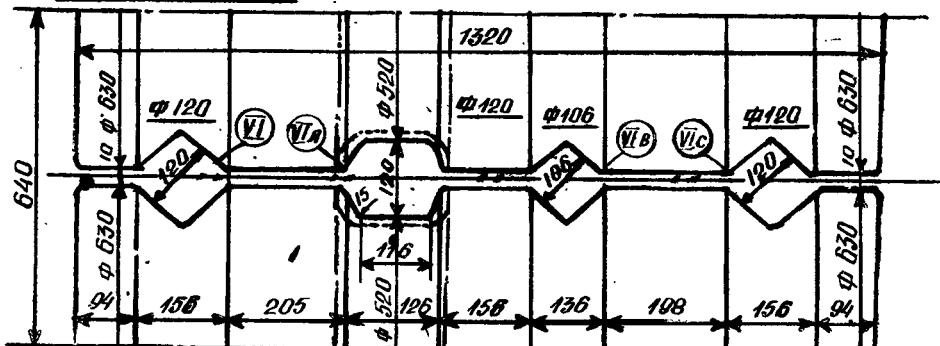
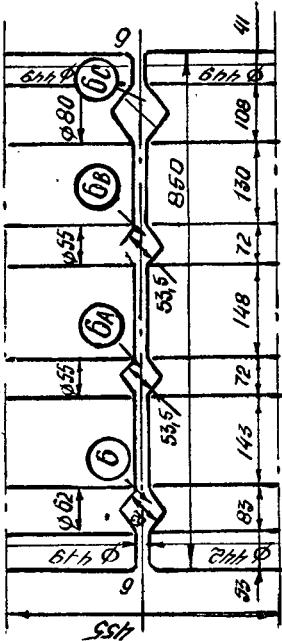
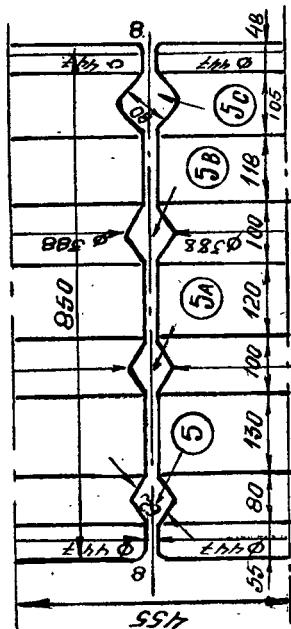
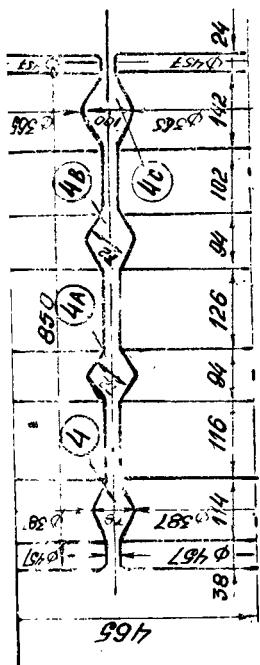
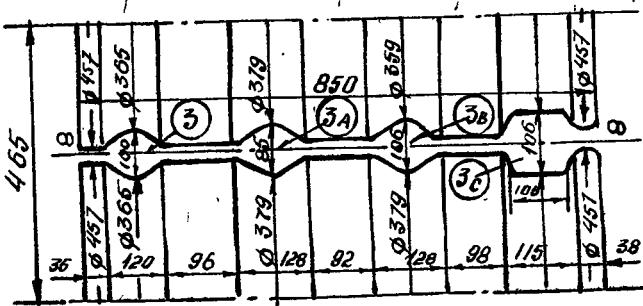
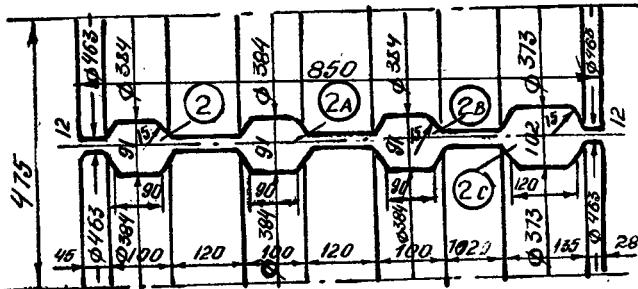
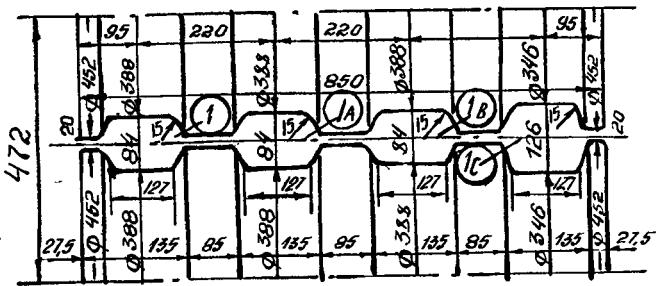


Рис. 12. Д.Е.Н.з.



Калибровка валков обжимной клети трио

Исходные данные

1. Номинальный диаметр валков $D_0 = 650$ мм
2. Число оборотов валков $n = 75$ об/мин.
3. Валки стальные
4. Сечение блума $\Phi 240$ мм
5. Конечное сечение заготовки $\Phi 110$ мм

Расчет ящичных калибров ведем по максимальным углам захвата /график $\alpha-f(\nu)$ - рис.3/. При расчете высоты калибра по углу захвата исходим из минимального диаметра валков. Расчет уширения ведем по номинальному диаметру.

Принимаем среднюю высоту калибра

$$h_{\text{кпр}} = 150 \text{ мм}$$

диаметр валка с учетом переточек

$$D_{\text{min}} = 600 \text{ мм}$$

Средний катающий диаметр равен:

$$D_{\text{кпр}} = D_{\text{min}} - h_{\text{кпр}} = 600 - 150 = 450 \text{ мм}$$

Средняя окружная скорость валков

$$\nu = \frac{\pi \cdot D_{\text{кпр}} \cdot n}{60} = \frac{3,14 \cdot 0,45 \cdot 75}{60} = 1,77 \text{ м/сек}$$

Допустимый угол захвата /рис.3/

$$\alpha = 26 + 27^\circ$$

Первый проход

Размеры задаваемой заготовки

Высота заготовки

$$H_i = h_0 = 240 \text{ мм}$$

Ширина заготовки

$$B_i = b_0 = 240 \text{ мм}$$

Угол захвата принимаем

$$\alpha_i = 26^\circ; \quad \cos \alpha_i = 0,899$$

Размеры выходящей полосы

Высота

$$h = \frac{H - D_{min} \cdot (1 - \cos \alpha)}{\cos \alpha}$$

$$h_1 = \frac{240 - 600 / 1}{0,899} = 0,899 / 0,899 = 200 \text{ мм}$$

Обжатие в первом проходе

$$\Delta h = H - h;$$

$$\Delta h_1 = 240 - 200 = 40 \text{ мм}$$

Катающий диаметр

$$D_k = D_o - h;$$

$$D_k = 650 - 200 = 450 \text{ мм}$$

Уточняем угол захвата

$$\alpha = \arccos \left(1 - \frac{\Delta h}{D_k} \right);$$

$$\alpha_1 = \arccos / 1 - \frac{40}{450} / = 24^{\circ} 15' ;$$

$$\alpha_1 = 0,392 \text{ рад.}$$

Уширение определяем по формуле А.П.Чекмарева

$$\Delta b = \frac{2b_{sp} (H - h) \cdot \kappa}{(H + h) [1 + (1 + \alpha) \left(\frac{b_{sp}}{R \cdot \alpha} \right)^n]};$$

$$\Delta b_1 = \frac{2 \cdot 244 \cdot 40 \cdot 1,0}{240 + 200 / \left[1 + 1,392 / \frac{244}{225 \cdot 0,392} \right]^2} = 3,82 \text{ мм} \approx 4 \text{ мм}$$

Ширина раската

$$b = B + \Delta b;$$

$$b_1 = 240 + 4 = 244 \text{ мм}$$

Коэффициент вытяжки

$$\mu = \frac{HB}{hb}$$

$$\mu = \frac{240 \cdot 240}{200 \cdot 244} = 1,18$$

Второй проход

Размеры задаваемой заготовки

$$H_2 = h_1 = 200 \text{ мм}$$

$$B_2 = b_1 = 244 \text{ мм}$$

Угол захвата

$$\alpha_2 = 26^\circ$$

Высота выходящей полосы

$$h_2 = \frac{200 - 600 / 1 - 0,899 /}{0,899} = 156 \text{ мм}$$

Обжатие

$$\Delta h_2 = 200 - 156 = 44 \text{ мм}$$

Катающий диаметр

$$D_{k2} = 650 - 156 = 494 \text{ мм}$$

Уточняем угол захвата

$$\alpha_2 = \arccos / 1 - \frac{44}{494} / = 24^\circ 15' ;$$

$$\alpha_2 = 0,392 \text{ рад.}$$

Уширение

$$\Delta b_2 = \frac{2 \cdot 246 \cdot 44 \cdot 1,0}{/200+156/ \left[1 + 1,392 / \frac{246}{247 \cdot 0,392} / 2 \right]} = 6,1 \text{ мм} \approx 6 \text{ мм}$$

Ширина полосы

$$b_2 = 244 + 6 = 250 \text{ мм}$$

Коэффициент вытяжки

$$\mu_2 = \frac{200 \times 244}{156 \times 250} = 1,25$$

Третий проход

Размеры задаваемой полосы

$$H_3 = b_2 = 250 \text{ мм}$$

$$B_3 = h_2 = 156 \text{ мм}$$

Угол захвата

$$\alpha_3 = 26^\circ$$

Высота выходящей полосы

$$h_3 = \frac{250 - 600 / 1' - 0,899 /}{0,899} = 210 \text{ мм}$$

Обжатие

$$\Delta h_3 = 250 - 210 = 40 \text{ мм}$$

Катающий диаметр

$$D_{K_3} = 650 - 210 = 440 \text{ мм}$$

Уточняем угол захвата

$$\alpha_3 = \arccos / 1 - \frac{4}{440} \times = 24^\circ 30'$$

$$\alpha_3 = 0,428 \text{ рад.}$$

Уширение

$$\Delta b_3 = \frac{2 \cdot 160 \cdot 40}{/250+210/ \left[1 + 1,428 / \frac{160}{220 \cdot 0,428} \right]^2} = 5,4 \text{ мм} \approx 5 \text{ мм}$$

Ширина полосы

$$b_3 = 156 + 5 = 161 \text{ мм}$$

Коэффициент вытяжки

$$\mu_3 = \frac{250 \cdot 156}{210 \cdot 161} = 1,15$$

Четвертый проход

Размеры задаваемой полосы

$$H_4 = h_3 = 210 \text{ мм}$$

$$B_4 = b_3 = 161 \text{ мм}$$

Угол захвата

$$\alpha_4 = 26^\circ$$

Высота выходящей полосы

$$h_4 = \frac{210 - 600 / 1 - 0,899 /}{0,899} = 167 \text{ мм}$$

Обжатие

$$\Delta h_4 = 210 - 167 = 43 \text{ мм}$$

Катающий диаметр

$$D_{K4} = 650 - 167 = 483 \text{ мм}$$

Уточняем угол захвата

$$\alpha_4 = \arccos / 1 - \frac{43}{483} / = 24^\circ 15'$$

$$\alpha_4 = 0,392 \text{ рад.}$$

Уширение

$$\Delta b_4 = \frac{2 \cdot 165 \cdot 43}{210 + 167 / \left[1 + 1,392 / \frac{165}{242 \cdot 0,392} \right]^2} = 7,2 \text{ мм} \cong 7 \text{ мм}$$

Ширина полосы

$$b_4 = 161 + 7 = 168 \text{ мм}$$

Коэффициент вытяжки

$$\mu_4 = \frac{210 \cdot 161}{167 \cdot 168} = 1,20$$

Получено сечение 167 x 168 мм.

Для того, чтобы из нечетного прохода получить квадратное сечение, необходимое для задачи в ромбический калибр, искусственно уменьшаем обжатия и ограничиваем уширение в пятом и шестом проходах.

Пятый проход

Размеры задаваемой полосы

$$h_5 = b_4 = 168 \text{ мм};$$

$$B_5 = h_4 = 167 \text{ мм};$$

Угол захвата

$$\alpha_5 = 15^\circ$$

Высота выходящей полосы

$$h_5 = \frac{163 - 600 / 1 - 0,966 /}{0,966} = 148 \text{ мм}$$

Обжатие

$$\Delta h_5 = 168 - 148 = 20 \text{ мм}$$

Катающий диаметр

$$D_{K5} = 650 - 148 = 502 \text{ мм}$$

Уточняем угол захвата

$$\alpha_5 = \arccos / 1 - \frac{20}{502} / = 16^\circ 15'$$

$$\alpha_5 = 0,284 \text{ рад.}$$

Уширение

$$\Delta b_5 = \frac{2 \cdot 170 \cdot 20 \cdot 0,7}{168+148 / \left[1 + 1,284 / \frac{170}{251 + 0,284} \right]^2} = 2,3 \text{ мм} \approx 2 \text{ мм}$$

Ширина полосы

$$b_5 = 167 + 2 = 169 \text{ мм}$$

Коэффициент вытяжки

$$\mu_0 = \frac{168}{148} : \frac{167}{169} = 1,12$$

Шестой проход

Размеры задаваемой полосы

$$H_6 = h_5 = 148 \text{ мм}$$

$$B_6 = b_5 = 169 \text{ мм}$$

Угол захвата

$$\alpha = 15^\circ$$

Высота выходящей полосы

$$h_6 = 148 - 600 / 1 - 0,966 / 0,966 = 129 \text{ мм}$$

Обжатие

$$\Delta h_6 = 148 - 129 = 19 \text{ мм}$$

Катающий диаметр

$$D_{K6} = 650 - 129 = 521 \text{ мм}$$

Уточняем угол захвата

$$\alpha = \arccos / 1 - \frac{19}{521} / = 15^\circ 30'$$

$$\alpha = 0,27 \text{ рад.}$$

Уширение

$$\Delta b_6 = \frac{2 \cdot 170 \cdot 19 \cdot 0,7}{148+129 / \left[1+1,27 / \frac{170}{261 \cdot 0,27} \right]^2} = 2,12 \text{ мм} \approx 2 \text{ мм}$$

Ширина полосы $b_6 = 169 + 2 = 171 \text{ мм}$

Коэффициент вытяжки

$$\mu_6 = \frac{148}{129} : \frac{169}{171} = 1,13$$

Седьмой проход

Размеры задаваемой полосы.

$$H_7 = b_0 = 171 \text{ мм}$$

$$B_7 = h_0 = 169 \text{ мм}$$

Задаемся высотой выходящей полосы

$$h_7 = 135 \text{ мм}$$

Обжатие за проход составит

$$\Delta h_7 = 171 - 135 = 36 \text{ мм}$$

Катающий диаметр

$$D_{K7} = 650 - 135 = 515 \text{ мм}$$

Угол захвата

$$\alpha_7 = \arccos \frac{36}{515} / = 21^{\circ} 33'$$

$$\alpha_7 = 0,38 \text{ рад.}$$

Уширение

$$\Delta b_7 = \frac{2 \cdot 130 \cdot 36 \cdot 0,7}{\sqrt{1+1,38^2} \cdot \left[1+1,38 \cdot \frac{130}{257 \cdot 0,38} \right]^2} = 6,2 \text{ мм} \approx 6 \text{ мм}$$

Ширина выходящей полосы

$$b_7 = 129 + 6 = 135 \text{ мм}$$

Коэффициент вытяжки

$$f_7 = \frac{171 \cdot 129}{135 \cdot 135} = 1,21$$

Переходим к расчету калибров системы "ромб-квадрат"

Восьмой и девятый проход

Размеры задаваемой полосы $H_8 = B_8 = 1,41 \cdot C_7 = 1,41 \cdot 135 = 190 \text{ мм}$

Размеры выходящей полосы

$$h_8 = b_0 = 1,41 \cdot C_9 = 1,41 \cdot 110 = 155 \text{ мм}$$

Общий коэффициент вытяжки в ромбе и квадрате

$$\mu_{\text{общ}} = \frac{135}{110} : \frac{135}{110} = 1,51$$

Частные коэффициенты вытяжки

$$\mu_b = \mu_s = \sqrt{\mu_{\text{общ}}} = \sqrt{1,51} = 1,23$$

Уширение ромбической полосы в квадратном калибре определяем по графику $\Delta b = f(D, \mu, c)$ - рис. 7 и 8.

$$\Delta b_1 = 11 \text{ мм}$$

Высота ромба

$$h_1 = b_1 - \Delta b_1 = 155 - 11 = 144 \text{ мм}$$

Площадь поперечного сечения ромба

$$q_1 = q_s \cdot \mu_s = 110 \cdot 110 \cdot 1,23 = 14900 \text{ мм}^2$$

Ширина ромба

$$b_1 = \frac{2q_1}{h_1} = \frac{2 \cdot 14900}{144} = 206 \text{ мм}$$

Обжатие за восьмой проход

$$\Delta h_8 = H_8 - h_8 = 190 - 144 = 46 \text{ мм}$$

Катающий диаметр

$$D_{K8} = 650 - 144 = 506 \text{ мм}$$

Угол захвата

$$\alpha_8 = \arccos /1 - \frac{46}{506} / = 24^{\circ}37'$$

Обжатие за девятый проход

$$\Delta h_9 = b_9 - h_9 = 206 - 155 = 51 \text{ мм}$$

Катающий диаметр

$$D_{K9} = 650 - 155 = 495 \text{ мм}$$

Угол захвата

$$\alpha_9 = \arccos /1 - \frac{51}{495} / = 26^{\circ}38'$$

Полученные расчетные данные заносим в таблицу калибровки /таблица 11/

Таблица калибровки
обжимной клети трио " 650 "

Таблица 11.

Нр	Форма: про- хода:	Размеры: кали- ра:	:0б ши- ха:	:0б ре- тие: ние:	Катающ. диаметр: захва- тка:	Угол вытяжки: та:	Коэф. к:
		h , мм	b , мм	a mm	D_k mm	α	μ
	Заготовка	240	240	-	-	-	-
1	Ящичный	200	244	40	450	$24^{\circ}15'$	1,18
2	"	156	250	44	494	$24^{\circ}15'$	1,25
3	"	210	161	40	440	$24^{\circ}30'$	1,15
4	"	167	168	43	483	$24^{\circ}15'$	1,20
5	"	148	169	20	502	$16^{\circ}15'$	1,12
6	"	129	171	19	521	$15^{\circ}30'$	1,13
7	"	135	135	36	515	$21^{\circ}33'$	1,21
8	Ромб	144	206	46	506	$24^{\circ}37'$	1,23
9	Квадрат	155	155	51	495	$26^{\circ}38'$	1,23

К построению сопряженных калибров

Глубину вреза сопряженных калибров в нижний / а /, средний / с / и верхний валок / б / определяем по формулам /рис.13/, на примере второй пары калибров:

$$a = 0,75 \cdot h_n - 0,25 \cdot h_s = 0,75 \cdot 210 - 0,25 \cdot 167 = 115 \text{ мм}$$

$$b = 0,75 \cdot h_s - 0,25 \cdot h_n = 0,75 \cdot 167 - 0,25 \cdot 210 = 72 \text{ мм}$$

$$c = 0,25 \cdot h_n + 0,25 \cdot h_s = 0,25 \cdot 210 + 0,25 \cdot 167 = 95 \text{ мм}$$

Таким образом, высота третьего калибра

$$h_3 = a + c = 115 + 95 = 210 \text{ мм};$$

высота четвертого калибра

$$h_4 = c + b = 95 + 72 = 167 \text{ мм}$$

Катающие диаметры определяем следующим образом:

$$D_{k_a} = D_0 - 2a;$$

$$D_{K_8} = D_0 - 2b ;$$

$$D_{K_6} = D_0 - 2c ;$$

$$D_{K_8} = 650 - 2 \cdot 115 = 420 \text{ мм};$$

$$D_{K_6} = 650 - 2 \cdot 72 = 506 \text{ мм};$$

$$D_{K_4} = 650 - 2 \cdot 95 = 460 \text{ мм}$$

Средний катающий диаметр определяется, как полусумма катающих диаметров:

$$D_{K_0} = \frac{D_{K_8} + D_{K_6}}{2} = \frac{420 + 460}{2} = 440 \text{ мм}$$

$$D_{K_4} = \frac{D_{K_6} + D_{K_8}}{2} = \frac{460 + 506}{2} = 483 \text{ мм}$$

Катающие диаметры седьмого, несопряженного калибра определим, задавшись величиной верхнего давления.

Принимаем

$$\delta = D_{K_6} - D_{K_4} = 10 \text{ мм}$$

Из рис.13 видно, что

$$D_1 = \frac{D_{K_6}}{2} + \frac{D_{K_4}}{2} + h_7;$$

или

$$D_1 = \frac{D_{K_4}}{2} + \frac{\delta}{2} + \frac{D_{K_6}}{2} + h_7;$$

$$D_1 = D_{K_4} + \frac{\delta}{2} + h_7;$$

Откуда $D_{K_4} = D_1 - \frac{\delta}{2} - h_7;$

$$D_{K_4} = 650 - 5 - 135 = 510 \text{ мм};$$

$$D_K = 510 + 10 = 520 \text{ мм};$$

$$D_{K_7} = \frac{D_{K_4} + D_{K_6}}{2} = \frac{510 + 520}{2} = 515 \text{ мм.}$$

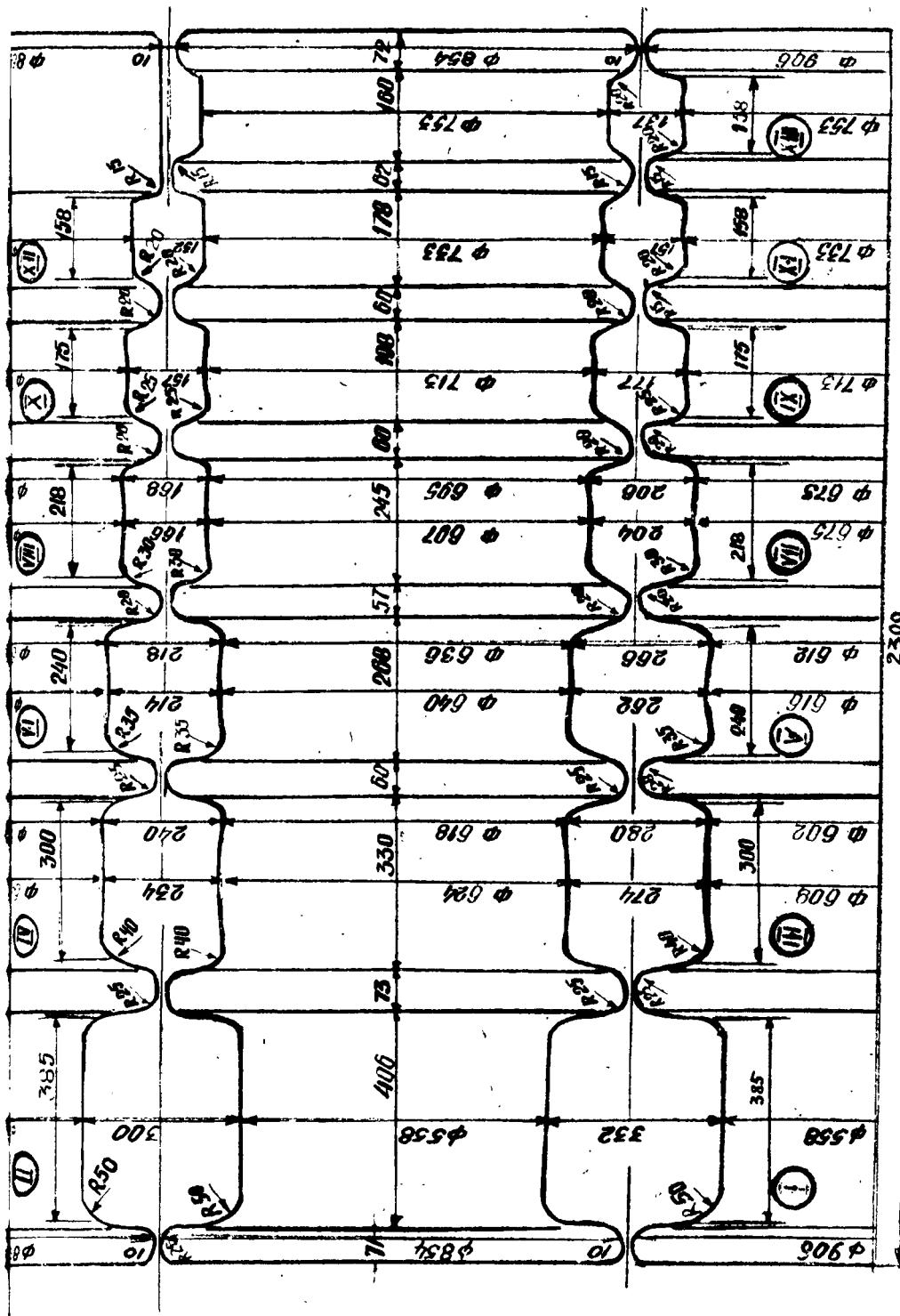


Рис. 14

Выпуск калибра в нижнем валке делают 10-15% от глубины вреза. Ширина калибра у основания нижнего валка b_3 равна высоте предыдущего калибра.

Ширина ручья у основания среднего валка b_2 принимается на 2-3 мм больше, чем у нижнего валка. Ширина ручья у основания верхнего валка b_1 на 2-3 мм больше, чем у среднего валка.

Калибровка валков обжимной клети трио "800" ЧМЗ приведена на рис. 14.

РАЗДЕЛ II

СОРТОПРОКАТНОЕ ПРОИЗВОДСТВО

КАЛИБРОВКА КРУГЛОГО И КВАДРАТНОГО ПРОФИЛЕЙ

Исходные данные

- Произвести расчет калибровки круга. Φ 20 мм и квадрата Φ 20 мм
- Диаметр валков $D_0 = 300$ мм
- Число оборотов валков $N = 280$ об/мин.
- Материал валков: предчистовых и черновых - сталь, чистовой клети - отбеленный чугун.
- Число проходов $Z = 6$
- Зазор между валками $S = 2,0$ мм
- Система вытяжных калибров: овал - квадрат.

A. КАЛИБРОВКА КРУГЛОГО ПРОФИЛЯ

Расчет ведем против хода прокатки /рис. 15/

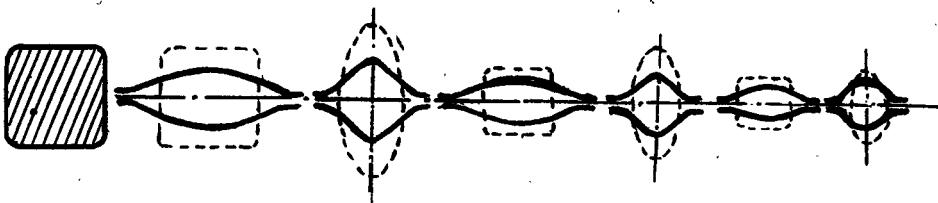


Рис. 15

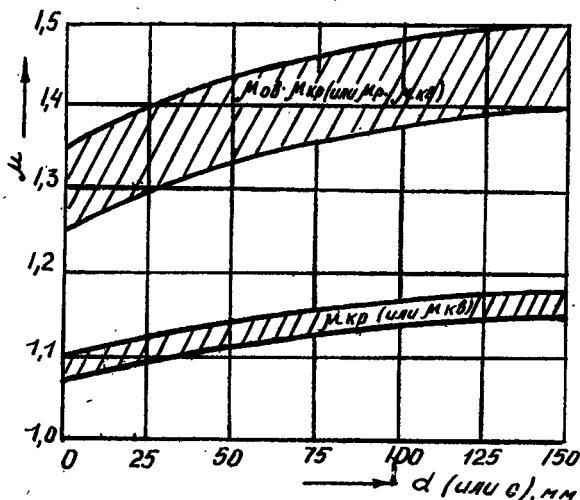


Рис. 16

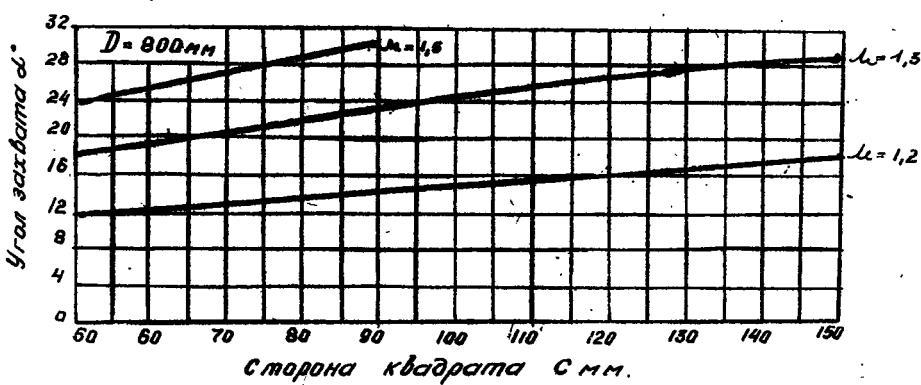


Рис. 17

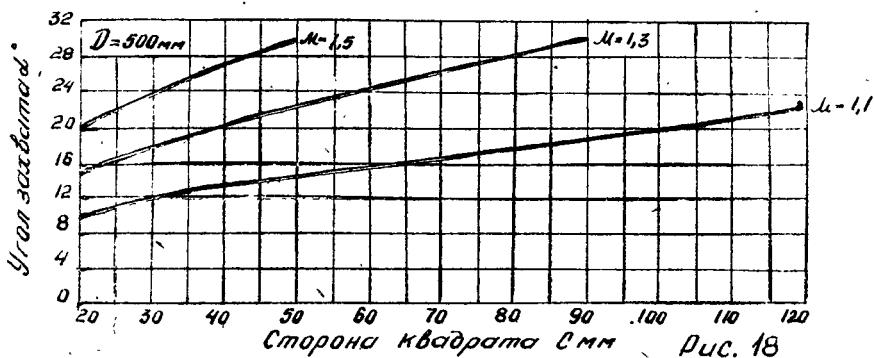


Рис. 18

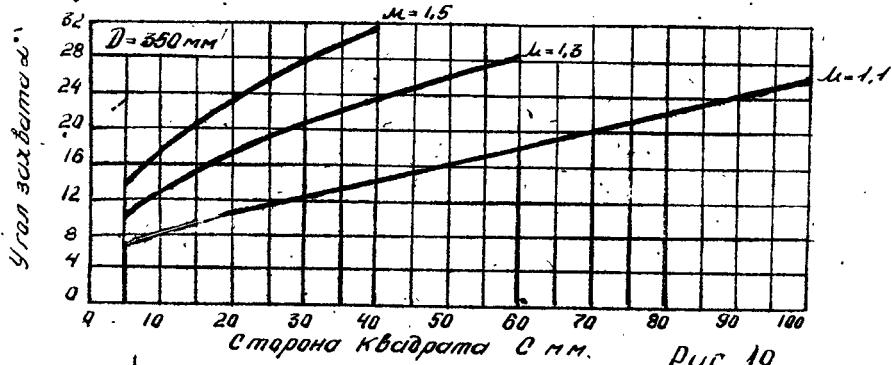


Рис. 19

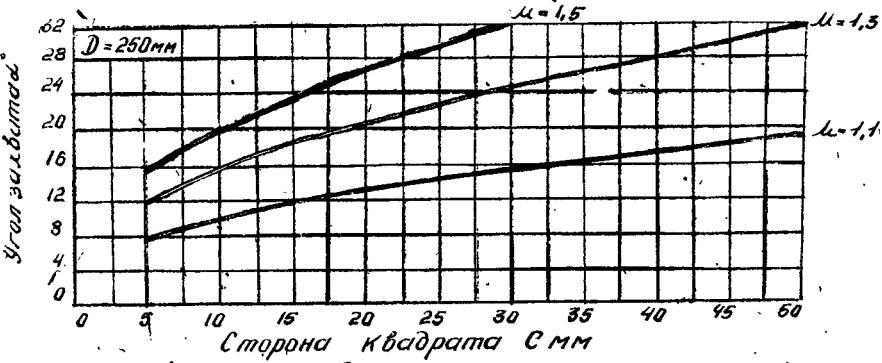


Рис. 20

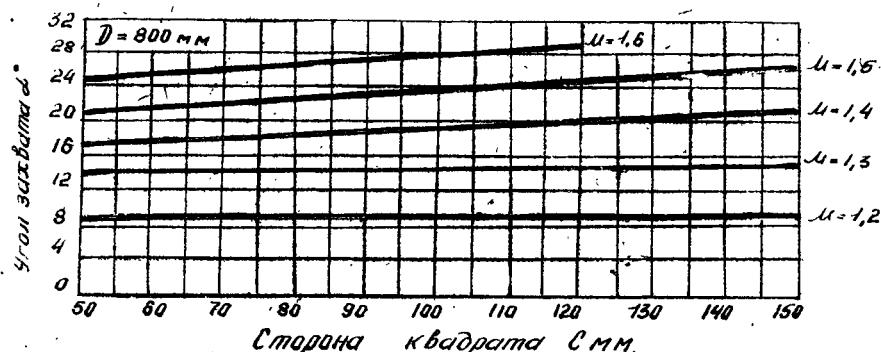


Рис. 21

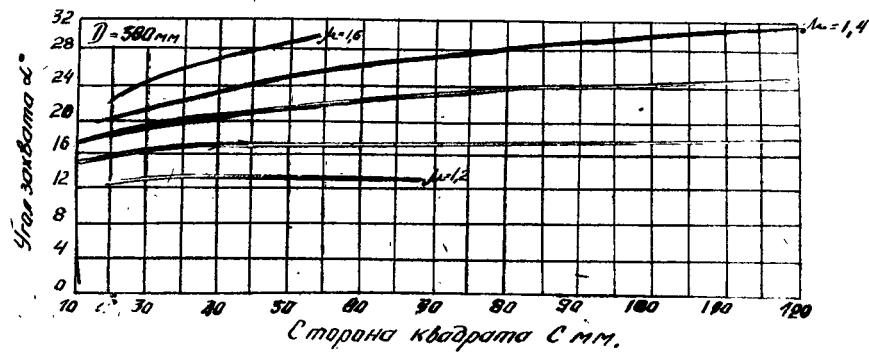


Рис. 22

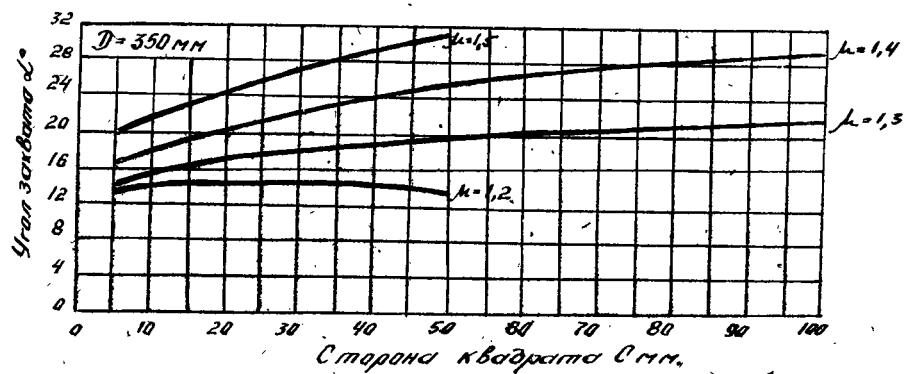


Рис. 23

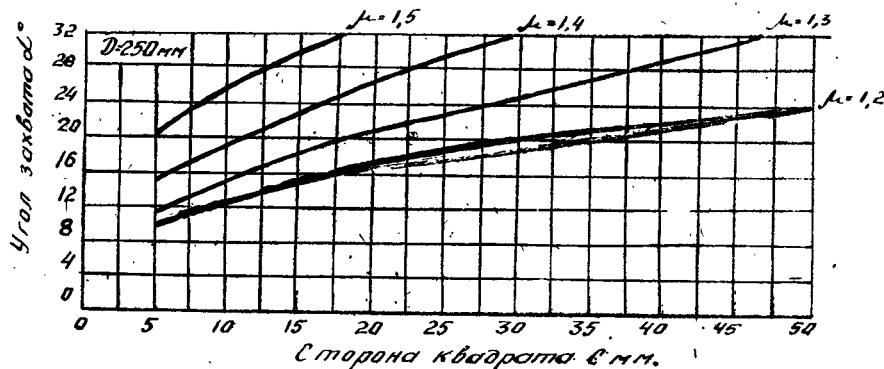


Рис. 24.

Горячие размеры чистового круга

$$d_3 = d_2 / 1 + \alpha \cdot t = 20 \cdot 1,014 \approx 20,3 \text{ мм}$$

Площадь 1 /чистового/ калибра

$$q_{kp_1} = \frac{\pi \cdot d_3^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 20,3^2}{4} = 324 \text{ мм}^2$$

Определим коэффициент вытяжки в чистовом круглом ка- либре μ_{kp} и общий коэффициент вытяжки в круглом и овальном калибрах $\mu_{kp,ob}$ по графику /рис.16/.

$$\mu_{kp} = 1,11; \quad \mu_{kp,ob} = 1,35.$$

Площадь предчистового овала

$$q_{ob_1} = q_{kp} \cdot \mu_{kp} = 324 \cdot 1,11 \approx 360 \text{ мм}^2$$

Определим уширение полосы в круглом калибре по графику $\Delta b = f / d, \mu, D$ /рис.9,10/

$$\Delta b_{kp} = 1,6 \text{ мм}$$

Толщина овала

$$h_{ob_1} = d_3 - \Delta b_{kp} = 20,3 - 1,6 = 18,7 \text{ мм}$$

Ширина овала

$$b_{ob_1} = \frac{3 \cdot q_{ob_1}}{2 \cdot h_{ob_1} + S} = \frac{3 \cdot 360}{2 \cdot 18,7 + 2} = 27,4 \text{ мм}$$

Площадь предчистового квадрата /Ш калибр, 1У проход/.

$$q_{kp,b} = q_{kp} \cdot \mu_{kp,ob} = 324 \cdot 1,35 = 437 \text{ мм}^2$$

Сторона предчистового квадрата /с учетом закруглений/;

$$c_{kp,b} = \sqrt{1,03 \cdot q_{kp,b}} = \sqrt{1,03 \cdot 437} = \sqrt{450} = 21,2 \text{ мм.}$$

Определим скорость прокатки

$$v_{kp} = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{60} = \frac{3,14 \cdot 0,3 \cdot 280}{60} = 4,4 \text{ м/сек.}$$

Допустимый угол захвата α_{don} находим по графику $\alpha = f(v)$ /рис.3/. Для стальных валков

$$\alpha_{don} = 22^\circ.$$

По графику $\alpha = f(c, \mu, D)$ /рис.23,24/ выбираем коэффициент вытяжки

$$\mu_{kb_3} = 1,35.$$

Коэффициент вытяжки в 1У - овальном калибре /III проход/ определим по формуле:

$$\mu_{ob_4} = 1 + 1,5 / \mu_{kb_3} - 1 / = 1 + 1,5 / 1,35 - 1 / = \\ = 1 + 1,5 \cdot 0,35 = 1,52.$$

Площадь следующего квадрата /У калибр. II проход/

$$q_{kb_3} = q_{kb_2} \cdot \mu_{ob_4} \cdot \mu_{kb_3} = 437 \cdot 1,52 \cdot 1,35 = 896 \text{ мм}^2$$

Сторона квадрата /У калибр/

$$C_3 = \sqrt{1,03 \cdot q_{kb_3}} = \sqrt{1,03 \cdot 896} = \sqrt{908} = 30,6 \text{ мм.}$$

Площадь овала /1У калибр/

$$q_{ob_4} = q_{kb_3} \cdot \mu_{kb_3} = 437 \cdot 1,35 = 590 \text{ мм}^2$$

Ширение в предчистовом квадрате определим по графику

$$\Delta b = f(c, \mu, D) \text{ рис.27,28}$$

$$\Delta b_{kb_3} = 6,5 \text{ мм.}$$

Высота овала /1У калибр/

$$h_{ob_4} = 1,41 C_3 - \Delta b_{kb_3} - S = 1,41 \cdot 31,2 - 6,5 - 2,0 = 21,4 \text{ мм}$$

Ширина овала

$$b_4 = \frac{3 \cdot q_4}{2 h_4 + S} = \frac{3 \cdot 590}{2 \cdot 21,4 + 2,0} = 39,6 \text{ мм}$$

По графику $\alpha = f(c, \mu, D)$ рис.23,24 - определим коэффициент вытяжки в следующем, У квадратном калибре

$$\mu_5 = 1,32$$

Площадь овального калибра

$$q_5 = q_4 \cdot \mu_5 = 896 \cdot 1,32 = 1180 \text{ мм}^2$$

Ширение в У калибре определим по графику /рис.27,28/.

Высота овала /У1 калибр/

$$h_5 = 1,41 C_5 - \Delta b_5 - S = 1,41 \cdot 30,6 - 8,5 - 2,0 = 32,8 \text{ мм}$$

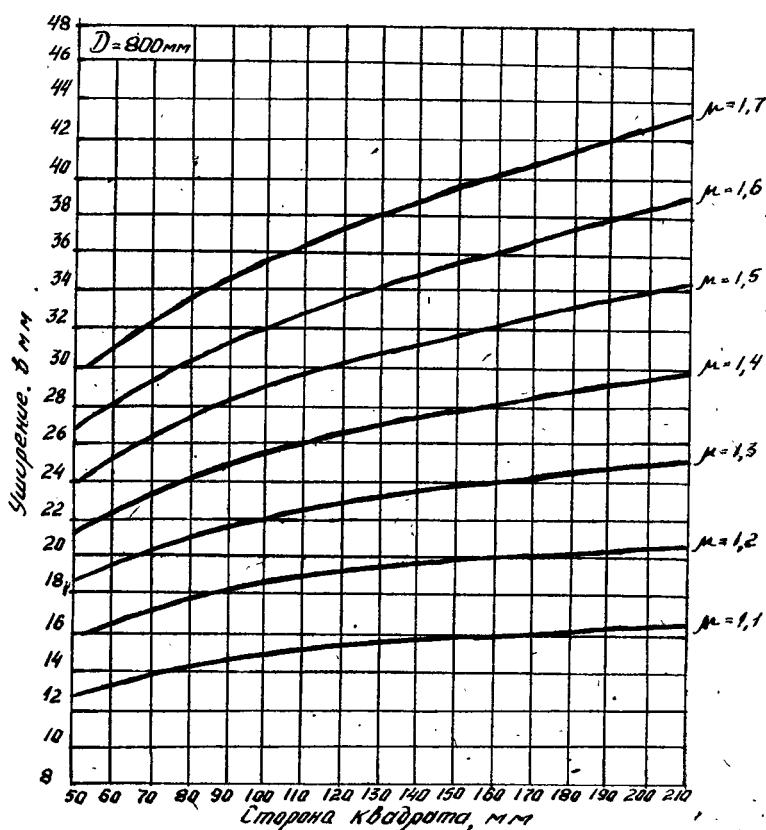


Рис. 25

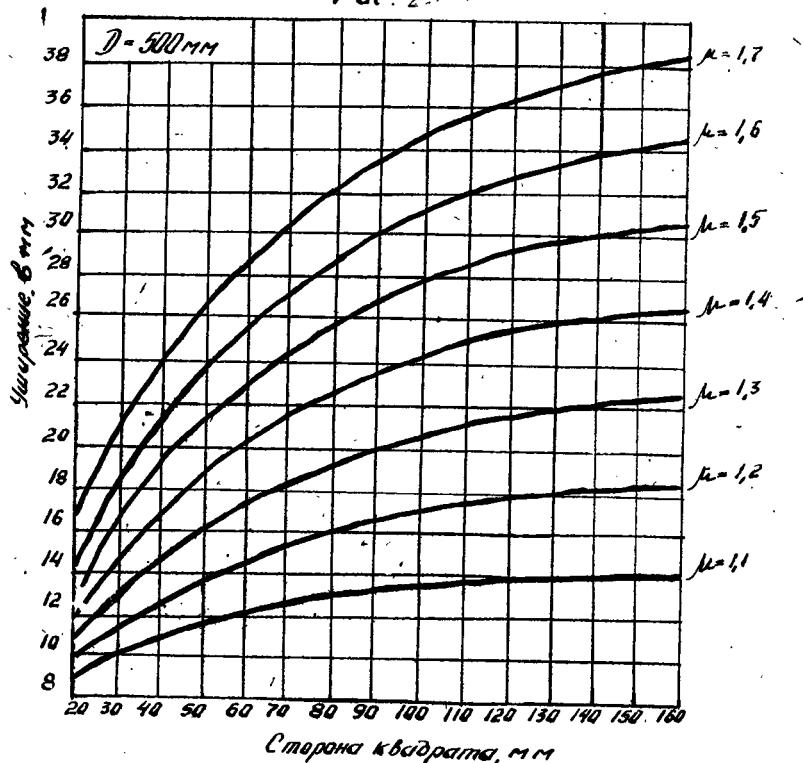


Рис. 25

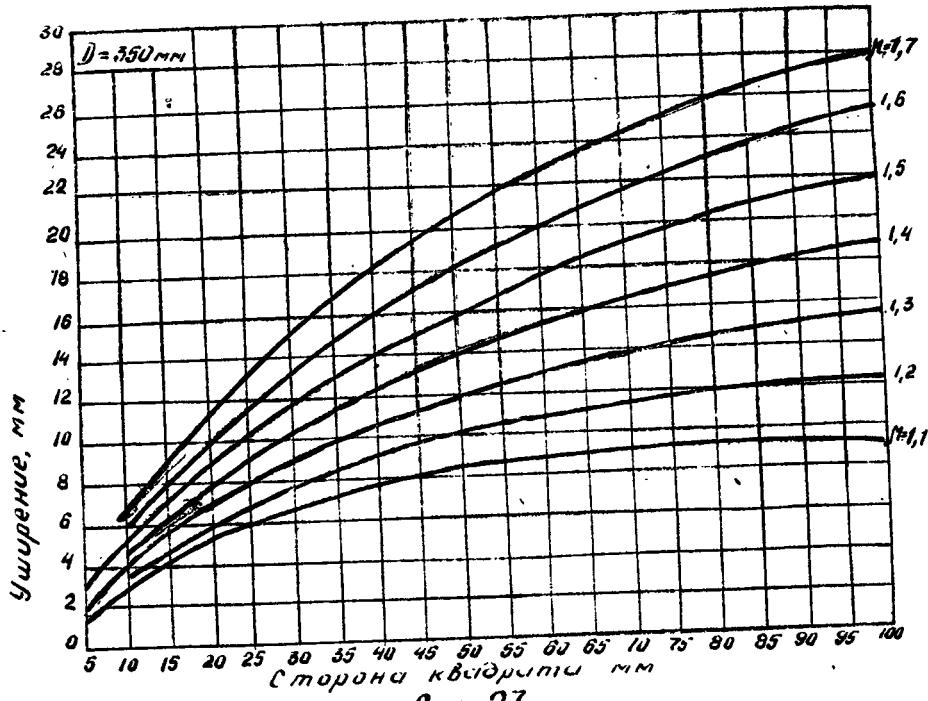


Рис. 27

Сторона квадрата, мм

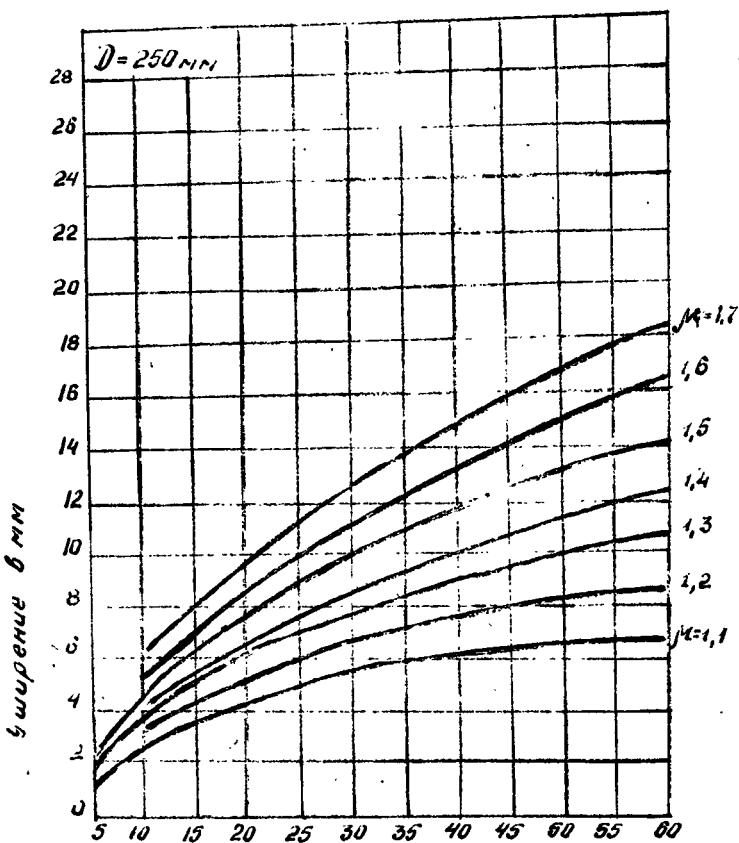


Рис. 28

Ширина овала

$$b_6 = \frac{3 \cdot 1180}{2 \cdot 32,8 + 2} = 52,4 \text{ мм}$$

Коэффициент вытяжки в овальном калибре

$$\mu_6 = 1 + 1,5 / \mu_5 - 1/ = 1 + 1,5 / 1,32 - 1/ = \\ = 1 + 1,5 \cdot 0,32 = 1,47$$

Площадь квадратной заготовки

$$Q_{\text{заг}} = q_1 \cdot \mu_6 = 1180 \cdot 1,47 = 1735 \text{ мм}^2$$

Сторона заготовки

$$C_{\text{заг}} = \sqrt{1,03 \cdot Q_{\text{заг}}} = \sqrt{1,03 \cdot 1735} = 42 \text{ мм}$$

На таком размере заготовки можно остановиться в том случае, если в составе стана имеется заготовочная клеть. Если же заготовка поступает со специального заготовочного стана, то более рационально принять размер заготовки $\phi 40$ мм или $\phi 45$ мм. После выбора размера заготовки необходимо произвести корректировку коэффициентов вытяжек.

для заполнения таблиц калибровки и построения калибров произведем дополнительные вычисления.

действительные вертикальные диагонали квадратных калибров.

$$h_3 = 1,41 \cdot C_3 - 0,82 \cdot 2 ;$$

где: 2 - радиус закругления /обычно принимают зазору между валками/.

$$2 = S = 2 \text{ мм.}$$

$$h_3 = 1,41 \cdot 21,2 - 0,82 \cdot 2,0 = 29,9 - 1,6 = 28,3 \text{ мм}$$

$$h_5 = 1,41 \cdot 30,6 - 0,82 \cdot 2,0 = 43,2 - 1,6 = 41,6 \text{ мм}$$

Радиусы овальных калибров определяются по формуле:

$$R = \frac{b^2 + 4f^2}{8f};$$

где: $f = 0,5 / h - S / .$

$$f_2 = 0,5 / h_2 - S / = 0,5 / 18,7 - 2 / = 8,35 \text{ мм}$$

$$R_2 = \frac{27,4^2 + 4 \cdot 8,35^2}{8 \cdot 8,35} = \frac{750 + 4 \cdot 70}{66,8} = 15,2 \text{ мм}$$

$$f_4 = 0,5 / 21,4 + 2 / = 11,7 \text{ мм}$$

$$R_4 = \frac{39,6^2 + 4 \cdot 11,7^2 - 1570 + 4 \cdot 137}{8 \cdot 11,7} = 22,7 \text{ мм}$$

$$f_6 = 0,5 / 32,3 + 2 / = 17,4 \text{ мм}$$

$$R_6 = \frac{52,4^2 + 4 \cdot 17,4^2 - 2750 + 4 \cdot 303}{8 \cdot 17,4} = 28,4 \text{ мм}$$

Линейные обжатия и углы захвата в квадратных и круглом калибрах.

$$\Delta h_2 = b_2 - h_1 = 27,4 - 20,3 = 7,1 \text{ б}_2$$

$$\alpha_1 = \arccos / 1 - \frac{\Delta h_1}{D_o - h_1} / = \\ = \arccos / 1 - \frac{7,1}{300 - 20,3} / = 12^0 50'.$$

$$\Delta h_3 = 39,6 - 28,3 = 11,3 \text{ мм}$$

$$\alpha_3 = \arccos / 1 - \frac{11,3}{300 - 28,3} / = 16^0 40'$$

Обжатия и углы захвата в овальных калибрах.

$$\text{П калибр /предчистовой овал/. } \Delta h_2 = c_2 - h_2 + m_2 R_2;$$

$$\text{где: } m = 2 / 1 - \sqrt{1 - \frac{c^2}{4R^2}} /;$$

Значение коэффициента m подсчитывается, либо берется из графика $m = f(C/R)$ /рис. 29/.

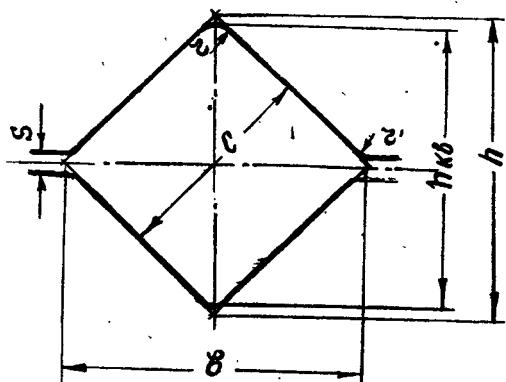
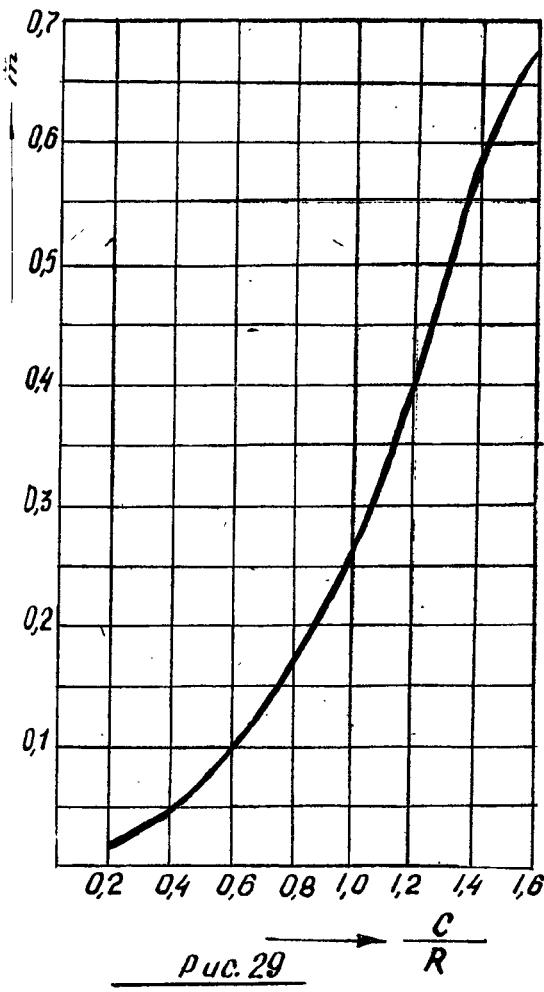
$$m_2 = 2 / 1 - \sqrt{1 - \frac{21,2^2}{2,15,2^2}} = 0,57$$

$$\Delta h_2 = 21,2 - 18,7 + 0,57 \cdot 15,2 = 11,15 \text{ мм}$$

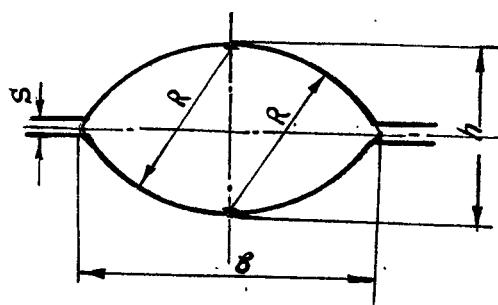
Катающий диаметр

$$D_k = D_o - h + mR;$$

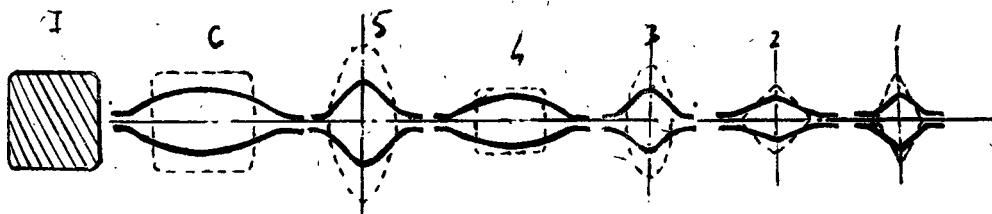
$$D_{k_2} = 300 - 18,7 + 0,57 \cdot 15,2 = 290 \text{ мм}$$



Puc. 31



Puc. 32



Puc. 30

$$\alpha = \arccos \left(1 - \frac{\Delta h}{D_K} \right) = \arccos / 1 - \frac{11,15}{290} / = 16^\circ$$

1У калибр

$$m_4 = 2 / 1 - \sqrt{1 - \frac{30,6^2}{4 \cdot 22,72}} / = 0,52$$

$$\Delta h_4 = 30,6 - 21,4 + 0,52 \cdot 22,7 = 21,0 \text{ мм}$$

$$D_{K_4} = 300 - 21,4 + 0,52 \cdot 22,7 = 299,6 \text{ мм}$$

$$\alpha_4 = \arccos / 1 - \frac{21,0}{299,6} / = 21^\circ 30'$$

У1 калибр

$$m_6 = 2 / 1 - \sqrt{1 - \frac{42^2}{4 \cdot 28,4^2}} / = 0,65$$

$$\Delta h_6 = 42 - 32,8 + 0,65 \cdot 28,4 = 27,6 \text{ мм}$$

$$D_{K_6} = 300 - 32,8 + 0,65 \cdot 28,4 = 285,6 \text{ мм}$$

Уширение металла в овальных калибрах определим по формуле МУТЬЕВА - ПЕТРОВА:

$$\Delta b_{ob} = 0,4 \sqrt{(c - h_{oc}) R_{kc}} \cdot \frac{c - h_{oc}}{c}$$

где: c - сторона квадрата, задаваемого в овал;

h_{oc} - средняя высота овального калибра.

$$h_{oc} = \frac{q_{ob}}{b_{ob}}$$

q_{ob} - площадь овального калибра;

b_{ob} - ширина овального калибра;

R_{kc} - средний катящий радиус валка по данному овальному калибру; $R_{kc} = R_k - h_{oc}$;

Уширение в первом овальном калибре:

$$\Delta b_{ob} = 0,4 \sqrt{ / 42 - \frac{1180}{52,4} / \cdot / 285,6 - \frac{1180}{52,4} / \cdot \frac{42 - 52,4}{42} = 1180 }$$

$$= 0,4 \sqrt{ / 42 - 22,5 / \cdot / 143 - 22,5 / \cdot \frac{42 - 22,5}{42} = }$$

$$= 0,4 \sqrt{19,5 \cdot 120,5 \cdot 0,465} = 0,4 \cdot 48,5 \cdot 0,465 = 9,0 \text{ мм}$$

Уширение в третьем калибре:

$$\Delta b_3 = 0,4 \sqrt{30,6 - \frac{590}{39,6}} / \sqrt{\frac{299,6 - 590}{39,6}} = \frac{30,6 - \frac{590}{39,6}}{30,6} = \\ = 9,4 \text{ мм.}$$

Уширение в предчистовом овале:

$$\Delta b_4 = 0,4 \sqrt{21,2 - \frac{360}{27,4}} / \sqrt{\frac{290 - 960}{27,4}} = \frac{21,2 - \frac{360}{27,4}}{21,2} = 5,2 \text{ мм}$$

$$\alpha_6 = \arccos / 1 - \frac{27,6}{285,6} / = 25^{\circ}30'$$

Полученные данные сводим в таблицу калибровки /табл. 12/.

Конструкция и размеры калибров для прокатки круглой стали показаны на рис. 33.

Б. КАЛИБРОВКА КВАДРАТНОГО ПРОФИЛЯ

Расчет ведем против хода прокатки /рис. 30/.

Горячие размеры чистового квадрата

$$C_r = C_x / 1 + \alpha t / = 20 \cdot 1,014 \approx 20,3 \text{ мм.} = 20,3$$

Площадь 1 /чистового/ калибра

$$Q_1 = C_r^2 = 20,3^2 = 412,1 \text{ мм}^2 \approx 412 \text{ мм}^2 < 412 \text{ см}^2$$

Коэффициент вытяжки в чистовом квадратном калибре μ_1 , общий коэффициент вытяжки в чистовом и предчистовом /квадратном и ромбическом/ калибре μ_{1-2} определяем по графику /рис. 16/. $M_1 = 1,11$; $M_{12} = 1,35$

$$\mu_1 = 1,11; \quad \mu_{1-2} = 1,35$$

Площадь предчистового ромба:

$$Q_2 = Q_1 \cdot \mu_1 = 412 \cdot 1,11 = 457 \text{ мм}^2 \approx 457 \text{ см}^2$$

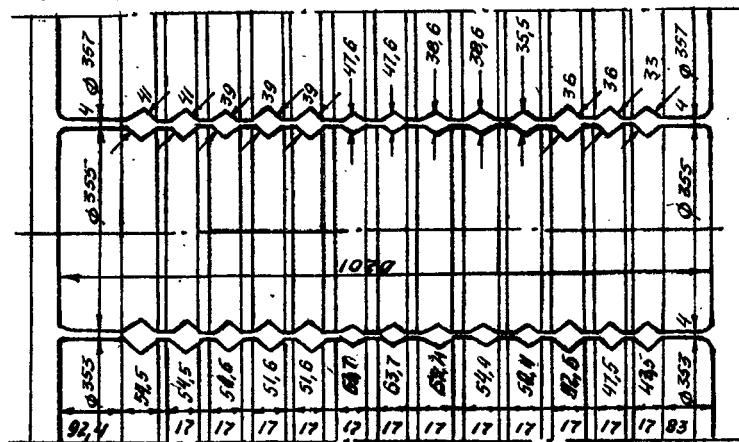
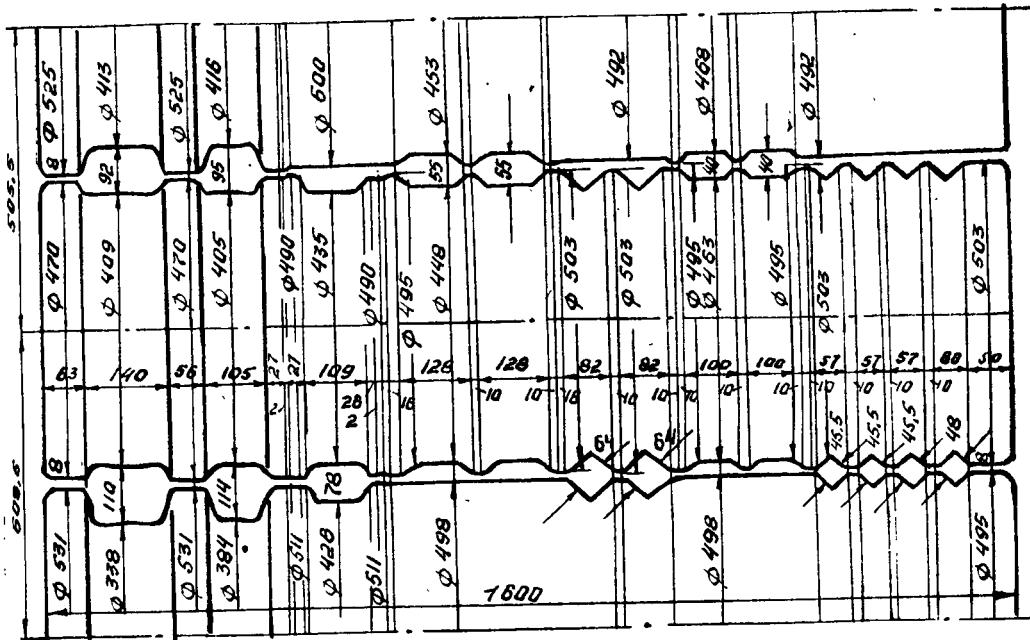


Рис. 33 а-б

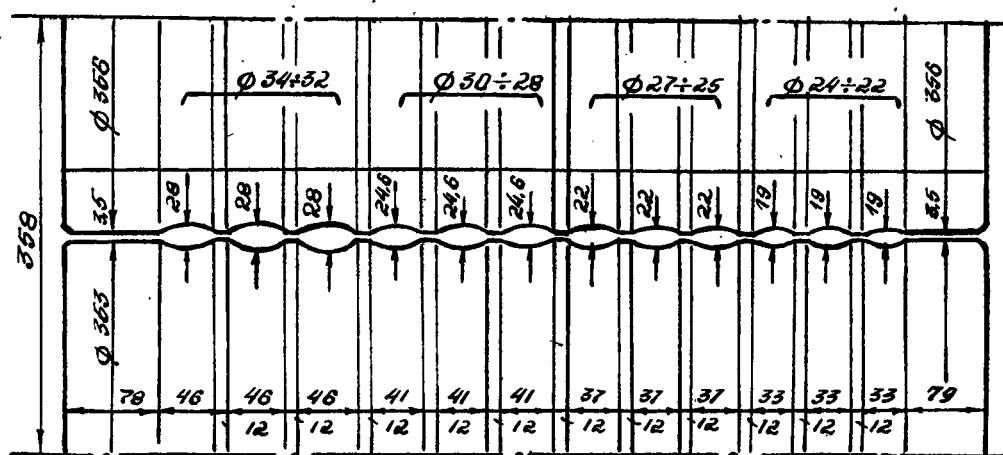
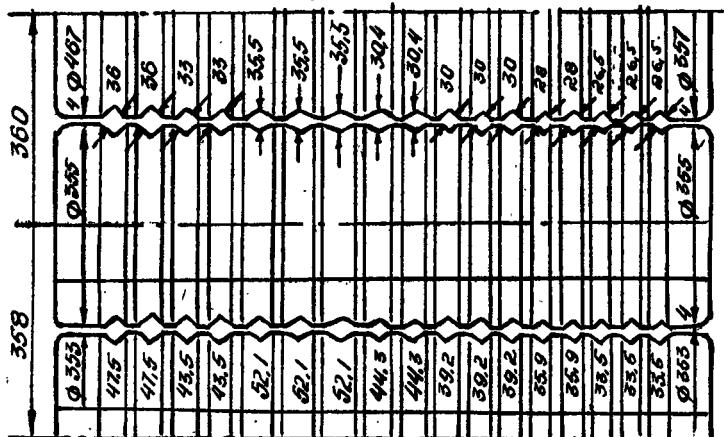
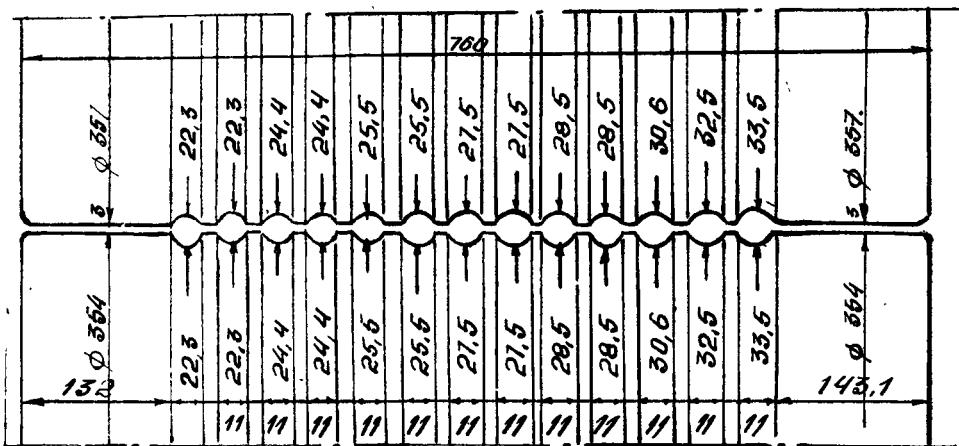


Рис. 33 б,2.



РУС. 33-2

Схема прокатки круглой стали $\phi 25 \div 33$ мм.

№ пос. шайба	Заготовка	I К л ет ь				II К л ет ь				III К л ет ь				IV К л ет
		С1 мм	h мм	В мм	h мм	С1 мм	h мм	В мм	С1 мм	h мм	В мм	С1 мм		
ММ	43x43	40	60	41	55	34	32	48	28	23	32	25,5		
ММ	44x44	43	62	44	58	36	35	51	30	25	34,5	21,5		
ММ	45x45	43,5	63	44,5	59	37	36	53	31,5	26	35,5	28,5		
МС2	45x45	44	63	44,5	60	38	38	55	35,5	28	38	30,5		
ММ	43x43	40	60	41	55	-	-	-	34	28	38	30,5		
ММ	44x44	48	63	44	58	-	-	-	36	30	40	32,5		
ММ	45x45	43,5	63	44,5	59	-	-	-	37	31	44,5	33,5		

Уширение в квадратном калибре Δb_1 определяем по
графику $\Delta b_1 = f(c, \mu, D)$ /рис.9,10/.
 $\Delta b_1 = 1,6 \text{ мм} = 1,6 \text{ см}$

Высота ромбического калибра

$$h_2 = 1,41 \cdot c_r - \Delta b_1 = 1,41 \cdot 20,3 - 1,6 = 27 \text{ мм}$$

Ширина ромба

$$b_2 = \frac{2 \cdot q_2}{h_2} = \frac{2 \cdot 457}{27} = 33,8 \text{ мм}$$

Площадь предчистового квадрата

$$q_3 = q_1 \cdot \mu_{12} = 412 \cdot 1,35 = 555 \text{ мм}^2$$

Сторона предчистового квадрата /с учетом закруглений/.

$$c_3 = \sqrt{1,03 \cdot q_3} = \sqrt{1,03 \cdot 555} = 24 \text{ мм}$$

Дальнейший расчет вытяжных калибров ведется по той же схеме, что и при калибровке круга $d = 20 \text{ мм}$. 80 этого переноса.

ПОРЯДОК РАСЧЕТА СИСТЕМЫ ВЫТЯЖНЫХ КАЛИБРОВ ДЛЯ СЛУЧАЯ, КОГДА ЗАДАНЫ НАЧАЛЬНОЕ И КОНЕЧНОЕ СЕЧЕНИЕ

Расчет чистового круглого или квадратного, предчистового овального или ромбического и предчистового квадратного калибров производится по описанной выше схеме. Предчистовой квадратный калибр имеет двойственный характер: Он принадлежит к предчистовым калибрам и одновременно является последним в системе вытяжных калибров.

В том случае, когда заданы начальное и конечное сечение полосы расчет вытяжных калибров можно вести двумя путями.

1. Расчет ведется по изложенной выше методике до тех пор пока не получится квадрат, близкий к размерам заданной заготовки. Переход на заданный размер заготовки осуществляется путем корректировки коэффициентов вытяжки в одном - двух квадратных калибрах.

2. Более правильно сначала определить число проходов, а затем произвести расчет калибров. В этом случае определяют общий для системы вытяжных калибров коэффициент вытяжки:

$$\mu_z = \frac{Q}{Q_0}$$

где: Q - площадь поперечного сечения заготовки;
 Q_0 - площадь поперечного сечения предчистового квадрата.

Для системы овал - квадрат:

$$\mu_z = \mu_{zob} \cdot \mu_{zkb}$$

где: μ_{zob} - общий коэффициент вытяжки во всех овальных калибрах;
 μ_{zkb} - общий коэффициент вытяжки во всех квадратных калибрах.

$$\mu_{zob} = 0,167 + \sqrt{0,028 + 0,666 \cdot \mu_z};$$

Число квадратных калибров n_{kb} определяется по формуле:

$$n_{kb} = \frac{\lg \mu_{zkb}}{\lg \mu_{srkb}}$$

где: μ_{srkb} - средний коэффициент вытяжки в квадратных калибрах /определяется по графикам $\alpha = f(c, \mu, D)$
- рис. 21-24. $\alpha = f(\nu)$ - рис. 3/.

Величина n_{kb} округляется до ближайшего целого числа /в зависимости от конкретных условий калибровки/. Общий коэффициент вытяжки в квадратных калибрах разбивается на частные, на n квадратных калибров. В предчистовом квадратном калибре коэффициент вытяжки не должен превышать 1,35. Таким образом

$$\mu_{zkb} = \mu_3 \cdot \mu_5 \cdots \mu_n$$

Коэффициенты вытяжки в овальных калибрах определяются по формуле:

$$\mu_{ob} = 1 + 1,5 / \mu_{kb} - 1 /;$$

Для системы ромб - квадрат коэффициент вытяжки в ромби-

ческом калибре принимается равным коэффициенту вытяжки в следующем по ходу прокатки квадратном калибре.

Средний коэффициент вытяжки, найденный по графикам $\alpha=f(c, M, D)$ рис. 17-20 и $\alpha=f(v)$ рис. 3, дает возможность определить общее число проходов.

$$n = \frac{l_0 \mu_2}{l_1 \mu_1}$$

Общее число калибров должно быть четным, а число пар калибров целым.

Общий коэффициент вытяжки разбивается на частные:

$$\mu_2 = \mu_3 \cdot \mu_4 \cdot \mu_5 \cdots \mu_n$$

Зная коэффициенты вытяжки, можно рассчитать остальные размеры и построить калибры.

ПОСТРОЕНИЕ КАЛИБРОВ

Чистовой круг. Калибры для прокатки кругов до $= 10\text{мм}$ вычерчиваются из одного центра радиусом, равным половине диаметра горячего круга. При прокатке больших кругов горизонтальный диаметр калибра делается несколько больше вертикального. Увеличение горизонтального диаметра производится путем смещения центров дуг калибра на 1 - 1,5 мм вверх и вниз от горизонтальной оси калибра.

Квадрат /рис. 31/. Построение квадрата производят по его геометрическим диагоналям. От точки пересечения двух взаимно перпендикулярных прямых откладывают по половине диагонали. Концы этих отрезков служат геометрическими вершинами квадратов. Углы чистового калибра не закругляются. Углы предчистового и вытяжных квадратных калибров закругляются радиусом равным зазору между валками.

•
2 - 5

Зазор между валками принимается равным

$$S = (0,01 \div 0,005) Df$$

Место перехода наклонной части калибра в бурт закругляют радиусом

$$r = 1,0 \div 2,5 \text{ мм.}$$

Овал. Построение овального калибра ясно из рис. 32. Зазор между валками определяется так же, как и в квадратном калибре.

КАЛИБРОВКА ПОЛОСОВОЙ СТАЛИ

Исходные данные

1. Произвести расчет калибровки полосовой стали 120 × 10 мм.

2. Диаметр валков $D_0 = 500 \text{ мм.}$

3. Число оборотов валков $n = 120 \text{ об/мин.}$

4. Прокатывается конструкционная сталь в закрытых калибрах.

Определим горячие размеры полосы.

$$h_t = h_{\infty} / 1 + \alpha t / = 10 \cdot 1,014 = 10,1 \text{ мм}$$

$$b_t = b_{\infty} / 1 + \alpha t / = 120 \cdot 1,014 = 121,7 \text{ мм}$$

Выберем показатель свободного уширения K_{sf} по табл. 13 и зададимся коэффициентом ограничения уширения в калибрах.

K_{up}

$$K_{sf} = 0,5 ; \quad K_{up} = 0,6 .$$

Произведение этих коэффициентов даст нам общий коэффициент уширения:

$$K_e = K_{up} \cdot K_{sf} = 0,6 \cdot 0,5 = 0,3$$

Значение показателя уширения K_e

Таблица 13.

Ширина полос	Показатель уширения
до 80 мм	0,7 ÷ 0,9
80 ÷ 150 мм	0,5 ÷ 0,7
свыше 150 мм	0,3 ÷ 0,5

Определим предварительный размер стороны исходного квадрата

$$c_0 = \frac{b_r + K_{\text{ко}} \cdot h_r}{1 + K_{\text{ко}}} = \frac{121,7 + 0,3 \cdot 10,1}{1 + 0,3} = 96 \text{ мм}$$

Суммарный коэффициент уменьшения высоты

$$P = \frac{c_0}{h_r} = \frac{96}{10,1} = 9,5$$

Принимая интенсивный режим обжатий, по табл.14 находим ближайшее к полученному нами значение общего коэффициента уменьшения толщины.

$$P_{\text{табл.}} = 12,12.$$

Этому значению соответствует ряд следующих частных коэффициентов p .

$$P_{\text{табл.}} = 12,12 = 1,30 \cdot 1,60 \cdot 1,80 \cdot 1,80 \cdot 1,80;$$

Перед пересчетом этих коэффициентов для получения интересующего нас значения $P = 9,5$, сделаем проверку обжатий в первых проходах по углу захвата.

При коэффициенте $p = 1,80$ толщина полосы в 1 проходе равна

$$h_i = \frac{c_0}{p_i} = \frac{96}{1,80} = 53,4 \text{ мм}$$

Обжатие в 1 проходе

$$\Delta h_i = c_0 - h_i = 96 - 53,4 = 42,6 \text{ мм}$$

Принимая минимальный диаметр валков

$$D_{\min} = 0,95 \cdot D_o = 0,95 \cdot 500 = 475 \text{ мм}$$

Находим угол захвата

$$\alpha = \arccos \left(1 - \frac{\Delta h_i}{D_{\min}} \right) = \arccos \left(1 - \frac{42,6}{475 - 53,4} \right) / = 26^\circ$$

При окружной скорости валков

$$V = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{60} = \frac{3,14 \cdot 0,475 \cdot 125}{60} = 3,1 \text{ м/сек.}$$

Допустимый угол захвата определяем по графику

$$\alpha = f(\gamma) \text{ - рис.3}$$

$$\alpha_{\text{доп.}} = 24^\circ \div 25^\circ$$

Принимаем $\alpha_{\text{доп.}} = 24^\circ$ и пересчитываем высоту и коэффициент уменьшения высоты полосы в 1 проходе.

$$h_1 = \frac{c_0 - D(1 - \cos \alpha)}{\cos \alpha} = \frac{96 - 475/1 - \cos 24^\circ}{\cos 24^\circ} = 60 \text{ мм}$$

$$\Delta h_1 = 96 - 60 = 36 \text{ мм.}$$

$$P_1 = \frac{96}{60} = 1,60$$

Проверяем второй проход по углу захвата при табличном коэффициенте уменьшения толщины

$$P_2 = 1,80$$

$$h_2 = \frac{60}{1,80} = 33,4 \text{ мм.} \quad \Delta h_2 = 60 - 33,4 = 26,6 \text{ мм}$$

$$\alpha_2 = \arccos /1 - \frac{26,6}{475 - 33,4} \gamma = 20^\circ < 24^\circ = \alpha_{\text{доп.}}$$

Таким образом, обжатие во втором проходе углом захвата не лимитируется.

Произведем подсчет действительных коэффициентов уменьшения высоты, исключая найденный уже коэффициент для первого прохода $P_1 = 1,60$. На оставшиеся 4 прохода общий коэффициент уменьшения толщины равен:

$$P'_{\text{табл.}} = \frac{P_{\text{табл.}}}{P_1} = \frac{12,12}{1,60} = 7,57 ;$$

$$P'_{\text{расч.}} = \frac{P}{P_1} = \frac{9,5}{1,60} = 5,94.$$

Поправочный коэффициент равен

$$m = \sqrt[4]{\frac{P'_{\text{расч.}}}{P'_{\text{табл.}}}} = \sqrt[4]{\frac{5,94}{7,57}} = 0,97.$$

ТАБЛИЦА КОЭФФИЦИЕНТОВ УМЕНЬШЕНИЯ

толщины при прокатке полос в закрытых калибрах

Таблица 14.

№ пп	Режим работы			
	Весьма интен- сивный	интенсивный	средний	пониженный
1.	P : P	P : P	P : P	P : P
1.	1,40	1,40	1,30	1,30 1,25
2.	1,70	2,38	1,60	2,08 1,45
3.	2,0	4,76	1,80	3,74 1,60
4.	2,0	9,52	1,80	6,74 1,60
5.	2,0	19,04	1,80	12,12 1,60
6.	2,0	38,08	1,80	21,8 1,60
7.	-	-	1,80	39,3 1,60
8.	-	-	-	19,0 30,4
9.	-	-	-	- 1,60
				1,50 24,8

ТАБЛИЦА КОЭФФИЦИЕНТОВ УМЕНЬШЕНИЯ

толщины при прокатке полос в гладких валках с
ребровым калибром /без коэффициентов для чисто-
вого и ребрового проходов/

Табл.15.

№ пп	Режим работы			
	Весьма интен- сивный	Интенсивный	Средний	Пониженный
1.	P : P	P : P	P : P	P : P
1.	1,70	1,70	1,60	1,60 1,45
2.	2,0	3,40	1,80	2,88 1,60
3.	2,0	6,80	1,80	5,18 1,60
4.	2,0	13,60	1,80	9,32 1,60
5.	2,0	27,20	1,80	16,78 1,60
6.	-	-	1,80	30,2 1,60
7.	-	-	-	1,60 24,30
8.	-	-	-	- 1,50
				20,74

Частные коэффициенты с учетом поправки:

$$p_3 = 1,80 \cdot 0,97 = 1,26 ;$$

$$p_4 = 1,60 \cdot 0,97 = 1,55 ;$$

$$p_5 = 1,80 \cdot 0,97 = 1,74 ;$$

$$p_6 = 1,80 \cdot 0,97 = 1,75 ;$$

$$p_7 \leq 1,60.$$

Проверка:

$$1,26 \cdot 1,55 \cdot 1,74 \cdot 1,75 \cdot 1,60 = 9,5.$$

Определение высоты калибров по проходам:

$$h_s = 10,1 \text{ мм}$$

$$h_4 = 10,1 \cdot 1,26 = 12,7 \text{ мм}$$

$$h_5 = 12,7 \cdot 1,55 = 19,7 \text{ мм}$$

$$h_6 = 19,7 \cdot 1,74 = 34,4 \text{ мм}$$

$$h_7 = 34,4 \cdot 1,75 = 60,0 \text{ мм}$$

Высота заготовки

$$H = h_7 \cdot p = 60 \cdot 1,60 = 96,0 \text{ мм}$$

Определим обжатие в У проходе

$$\Delta h_s = h_4 - h_s = 12,7 - 10,1 = 2,6 \text{ мм}$$

Катающий диаметр валков в У калибре /при

$$D_{o\max} = 1,05 \cdot D_o = 1,05 \cdot 500 = 525 \text{ мм/}$$

$$D_{K_5} = D_{o\max} - h_s = 525 - 10,1 \approx 515 \text{ мм.}$$

Угол захвата.

$$\alpha_s = \arccos \left(1 - \frac{\Delta h_s}{D_{K_5}} \right) = \arccos \left(1 - \frac{2,6}{515} \right) = 6^\circ$$

Уширение за У проход определяем по формуле
А.П.Чекмарева:

$$\Delta b = \frac{2b_{ep} \cdot \Delta h \cdot K_{ep}}{(H+h)[1+(1+\alpha)\left(\frac{b_{ep}}{R\alpha}\right)^n]},$$

$$\Delta b_s = \frac{2 \cdot 121 \cdot 2,6 \cdot 0,6}{12,7 + 10,1 \left[1 + 1,105 \left(\frac{121}{257 \cdot 0,105} \right)^2 \right]} = 0,72 \approx 0,7 \text{ мм}$$

Здесь b_{ep} принято равным отругленно 121 мм. При большой ширине и небольшом уширении вместо b_{ep} можно подставить величину b .

Ширина полосы после 1У прохода:

$$b_1 = b_0 - \Delta b_0 = 121,7 - 0,7 = 121,0 \text{ мм.}$$

Точно также рассчитываются остальные калибры.

Данные расчета приведены в предварительной таблице калибровки /Табл. 16/. Суммарное обжатие и уширение записывается в последней строке "заготовка".

Предварительная таблица калибровки

Таблица 16.

Номер прохода	Коэффициент уменьшения толщины	Толщина полосы	Обжатие Δh	Ширина полосы	Уширение Δb	Катающий диаметр захвата	Угол захвата
0	Заготовка	96,0	-	89,7	-	-	-
1	1,60	30,0	36,0	101,0	11,3	465	22,7
2	1,75	34,4	25,6	111,1	10,1	491	18,5
3	1,74	19,7	14,7	118,0	6,9	505	14,0
4	1,55	12,7	7,0	121,0	3,0	512	9,5
5	1,26	10,1	2,6	121,7	0,7	515	6,0
Сумма			85,9		32,0		

Обычно в качестве исходной применяют заготовку квадратного сечения. Сделаем корректировку расчета. У нас получилась высота заготовки 96,0 мм, а ширина 89,7 мм. Общее уширение /сумма уширений во всех калибрах/ составило 32,0 мм, а общее обжатие 85,9 мм. Таким образом, действительное значение общего коэффициента уширения оказалось равным:

$$K = \frac{\sum \Delta b}{\sum \Delta h} = \frac{32,0}{85,9} = 0,372,$$

а не 0,30, как это ориентировочно принималось в начале расчета.

Пересчитаем размер стопоны исходной квадратной заготовки:

$$C_0 = \frac{121,7 + 0,372 \cdot 10,1}{1,372} = 91,2 \approx 91 \text{ мм.}$$

Ввиду небольшого различия в размерах заготовки, изменение в расчете производим только в одном, первом проходе.

Коэффициент уменьшения толщины:

$$p' = \frac{91}{60} = 1,52$$

Обжатие /при прежней величине $h_5 = 60,0$ мм/.

$$\Delta h'_1 = 91 - 60 = 31,0 \text{ мм.}$$

Угол захвата..

$$\alpha' = \arccos / 1 - \frac{31}{465} / = 21^\circ$$

Уширение

$$\Delta b'_1 = \frac{\Delta h'_1 \cdot \Delta b}{\Delta h_1} = \frac{31 \cdot 11,3}{36} = 9,8 \text{ мм}$$

Ширина заготовки

$$B = 101,0 - 9,8 = 91,2 \cong 91 \text{ мм.}$$

Полученные данные сводим в таблицу калибровки
/Табл.17/.

Таблица калибровки полосовой стали 120x10 мм

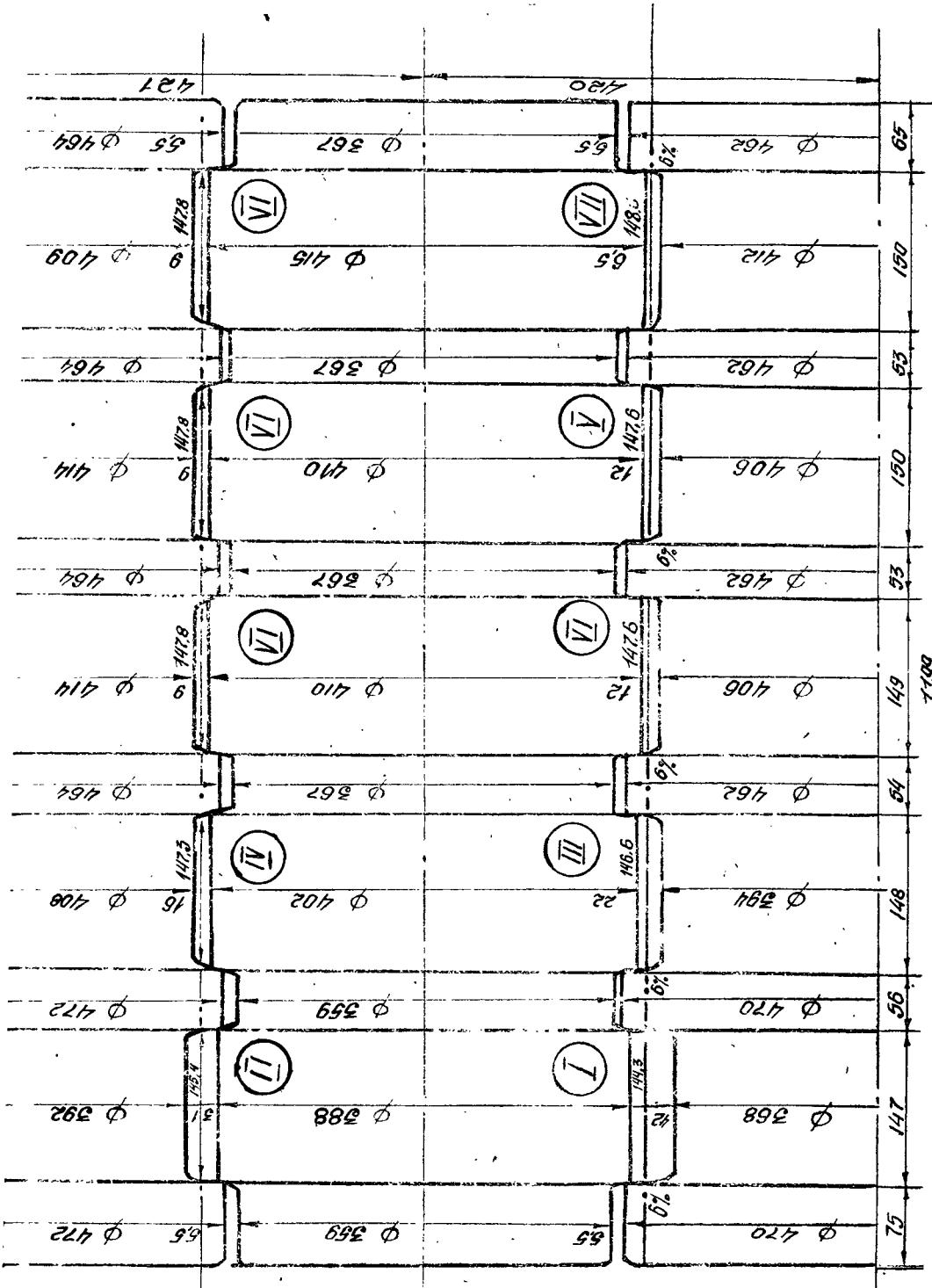
Табл.17.

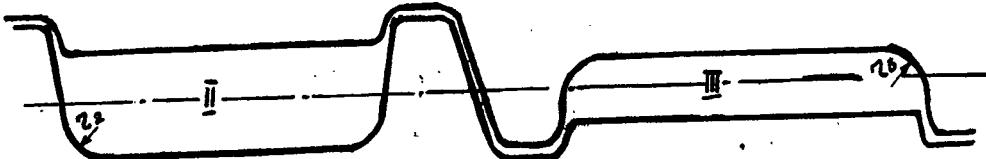
№ про- ход. ны	Коэф. умень- шения толщи- ны	Толщина: полосы:	Обжатие: Δh	Ширина: полосы:	Ушире- ние: Δb	Катающ.: диаметр: D_K	Угол захвата: α'
P	h мм	мм	мм	мм	мм	мм	
0	Заготовка	91,0	-	91	-	-	-
1	1,52	60,0	31,0	101,0	9,8	465	21
2	1,75	34,4	25,6	111,1	10,1	401	18,5
3	1,74	19,7	14,7	118,0	6,9	505	14
4	1,55	12,7	7,0	121,0	3,0	512	9,5
5	1,26	10,1	2,6	121,7	0,7	515	6

К ПОСТРОЕНИЮ ПОЛОСОВЫХ КАЛИБРОВ /рис.34/

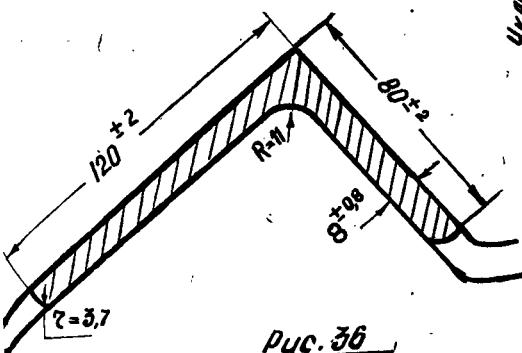
Для предупреждения образования заусенцев применяется закругление или скос углов дна калибра.

Радиусы закруглений дна калибра R обычно составляют от 50 до 100% толщины полосы. Иногда вместо закруглений радиусами делают притупления углов наклонными линиями /под

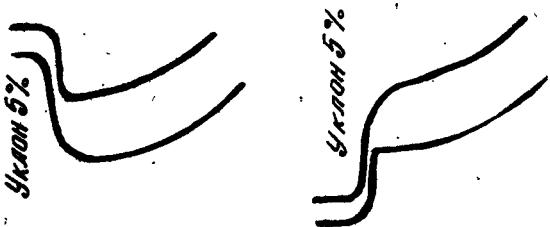




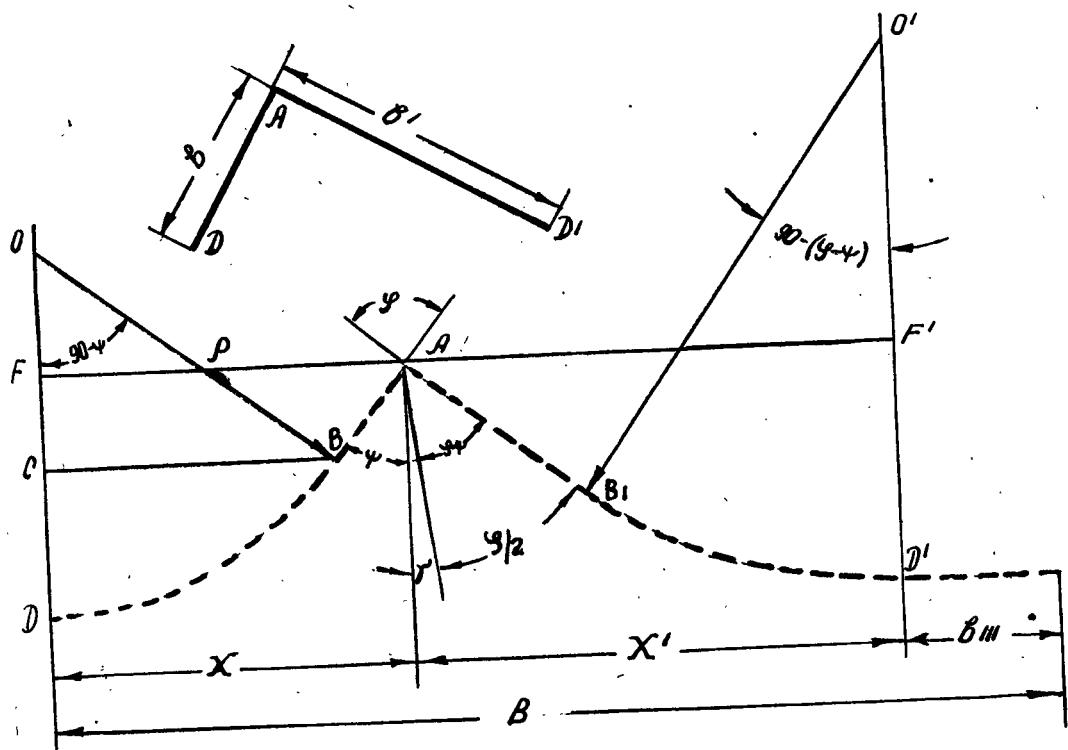
PUC. 34



PUC. 36



PUC. 38



PUC. 37

углом около 45° . Уклоны стенок черновых калибров принимаются равными $3 \pm 5\%$, а в чистовых - $0,5 \pm 1,0\%$.

Во избежание кантовок полосы при прокатке места разъема калибров /"замки"/ размещаются поочередно то сверху, то снизу.

Рабочие валки для прокатки полосовой стали на стане "400" показаны на рис.35.

КАЛИБРОВКА УГЛОВОЙ СТАЛИ

Исходные данные

1. Произвести расчет калибровки для прокатки неравнобокого уголка $120 \times 80 \times 8 - 10 - 12$ мм
2. Диаметр валков $D_o = 550$ мм.
3. Число оборотов валков $n = 100$ об/мин.
4. Допуски по ГОСТ 10015-39:
 - по ширине полки $\pm 2,0$ мм,
 - по толщине $\pm 0,8$ мм.
5. Радиусы закруглений $R = 11$ мм, $r = 3,7$ мм
/рис.36/.

Расчет калибровки делаем для прокатки уголка толщиной 8 мм. Получение уголков больших толщин в тех же калибрах путем увеличения зазора между валками.

Горячие размеры профиля с частичным использованием отрицательных допусков.

Широкая полка.

$$/120 - 1,5/ \cdot 1,013 = 120 \text{ мм.}$$

Узкая полка

$$/80 - 1,5/ \cdot 1,013 = 79,5 \text{ мм.}$$

Толщина полки

$$/8,0 - 0,5/ \cdot 1,013 = 7,6 \text{ мм}$$

Определим длину средней линии /развернутую ширину уголка/.

$$120 - 0,5 \cdot 7,6 = 116,2 \text{ мм}$$

$$79,5 - 0,5 \cdot 7,6 = 75,7 \text{ мм.}$$

$$b = 116,2 + 75,7 = 191,9 \text{ мм.}$$

Выбираем 5 фасонных уголковых калибров и прямоугольное сечение начальной заготовки. Режим прокатки интенсивный.

Коэффициенты уменьшения толщины /из табл. 17/

$$1,30 \cdot 1,60 \cdot 1,80 \cdot 1,80 \cdot 1,80 = 12,12.$$

Толщина полок по проходам:

$$h_4 = h_5 \cdot p_s = 7,6 \cdot 1,30 = 9,9 \approx 10 \text{ мм}$$

$$h_5 = 10 \cdot 1,60 = 16 \text{ мм}$$

$$h_2 = 16 \cdot 1,80 = 29 \text{ мм}$$

$$h_1 = 29 \cdot 1,80 = 52 \text{ мм}$$

Высота заготовки

$$H = 52 \cdot 1,80 \approx 95 \text{ мм}$$

Обжатия по проходам:

$$\Delta h_1 = H - h_1 = 95 - 52 = 43 \text{ мм}$$

$$\Delta h_2 = 52 - 29 = 23 \text{ мм.}$$

$$\Delta h_3 = 29 - 16 = 13 \text{ мм.}$$

$$\Delta h_4 = 16 - 10 = 6 \text{ мм.}$$

$$\Delta h_5 = 10 - 7,6 = 2,4 \text{ мм.}$$

Провернем обжатие в первом проходе по углу захвата

При $D_{min} = 500 \text{ мм}/.$

$$\alpha_1 = \arccos \left(1 - \frac{\Delta h_1}{D_{K_1}} \right) = \arccos \left(1 - \frac{43}{500 - 52} \right) / 25^{\circ} 20$$

При окружной скорости валков:

$$V = \frac{\pi D m}{60} = \frac{3,14 \cdot 0,5 \cdot 100}{60} = 2,62 \text{ м/сек.}$$

Допустимый угол захвата /по графику $\alpha = f(V)$ рис. 3/.

$$\alpha_{\text{доп}} = 26^{\circ}.$$

Таким образом, проверять последующие проходы по углу захвата необходимости нет.

Уширение определяем по формуле А.П.Чекмарева:

$$\Delta b = \frac{2b_{cp} \cdot \Delta h \cdot K}{(H+h) \left[1 + (1+\alpha) \left(\frac{b_{cp}}{R\alpha} \right)^n \right]};$$

Значение поправочного коэффициента уширения, учитывающего наклон стенок калибра принимаем:

$K = 0,7 + 1,0$ - для 1 прохода,

$K = 1,0 + 1,5$ - для промежуточных проходов,

$K = 1,8 + 2,0$ - для чистового прохода.

Угол захвата

$$\alpha_5 = \arccos /1 - \frac{2,4}{500} / = 6^0 = 0,1047 \text{ рад.}$$

Уширение в чистовом проходе:

$$\Delta b_5 = \frac{2 \cdot 191 \cdot 2,4 \cdot 2,0}{/10+7,6/ \left[1+1,1 / \frac{191}{247} \cdot 0,1 \right]} = 1,9 \text{ мм}$$

Ширина полосы /по средней линии/ после 1У прохода

$$b_4 = b_5 - \Delta b_5 = 191,9 - 1,9 = 190 \text{ мм.}$$

Точно также рассчитываем уширение и ширину для других проходов. Полученные данные заносим в таблицу калибровки /Таблица 18/, в которой показана полная ширина полок по их средней линии.

В чистовом калибре это:

$$b + b' = 116,2 + 75,7 = 191,9 \text{ мм}$$

Уширение распределяем поровну на длинную и короткую полки U , вычитая его, определяем ширину полок в калибрах.

Расчет дает заготовку высотой 95 мм и шириной 143 мм. В производственных условиях заготовка может быть выбрана высотой $95 \div 100$ мм и шириной $140 \div 145$ мм.

Для определения углов сгиба φ /рис.37/ находим общее обжатие.

$$\sum \Delta h = H - h_2 = 95 - 7,6 = 87,4 \text{ мм.}$$

Из плоской заготовки / 180^0 / нужно получить уголок с углом у вершины 90^0 . За все проходы нужно изменить угол на $180 - 90 = 90^0$. Распределим эти 90^0 между калибрами пропорционально обжатиям.

ТАБЛИЦА КАЛИБРОВКИ

угловой стали 120 x 80 x 8 мм

Табл.18.

№	Коэффиц. уменьшения толщины	Обжатие толщины	Общая ширина полок на подлок	Общее уширение	Угол сгиба
ходы	R	h мм	Δh мм	6+6 мм	φ мм
0	Заготовка	95	-	143	-
1	1,80	52	43	161,5	18,5
2	1,80	29	23	176,7	15,2
3	1,80	16	13	186,1	9,4
4	1,60	10	6	190,0	3,9
5	1,30	7,6	2,4	191,9	1,9

Коэффициент пропорциональности.

$$m = \frac{90^\circ}{\sum \Delta h} = \frac{90^\circ}{87,4} = 1,03$$

Углы сгиба φ и приращения $\Delta\varphi$ по проходам:

$$\varphi_0 = 90^\circ;$$

$$\Delta\varphi_1 = m \cdot \Delta h_1 = 1,03 \cdot 2,4 \approx 2^\circ;$$

$$\varphi_1 = \varphi_0 + \Delta\varphi_1 = 90 + 2 = 92^\circ;$$

$$\Delta\varphi_2 = 1,03 \cdot 6,0 \approx 6^\circ;$$

$$\varphi_2 = 92 + 6 = 98^\circ;$$

$$\Delta\varphi_3 = 1,03 \cdot 13 \approx 13^\circ;$$

$$\varphi_3 = 98 + 13 = 111^\circ$$

$$\Delta\varphi_4 = 1,03 \cdot 23 \approx 24^\circ;$$

$$\varphi_4 = 111 + 24 = 135^\circ;$$

$$\Delta\varphi_5 = 1,03 \cdot 43 = 45^\circ;$$

$$\varphi_5 = 135 + 45 = 180^\circ.$$

К ПОСТРОЕНИЮ КАЛИБРОВ ДЛЯ ПРОКАТКИ УГЛОВОЙ СТАЛИ /рис.37/.

1. Угол положения биссектрисы γ и углы ψ и $\varphi-\psi$ в чистовом калибре с отношением ширины полок 1,5 равны:

$$\psi = \operatorname{arctg} \frac{6}{6} = \operatorname{arctg} 1 = \frac{1}{1,5} = 33^\circ 40'$$

$$\psi - \Psi = 90^\circ - 33^\circ 40' = 56^\circ 20' .$$
$$\gamma - \frac{\psi}{2} - \Psi = 45^\circ - 33^\circ 40' = 11^\circ 20' .$$

В остальных /развернутых/ калибрах угол γ изменяется пропорционально изменению угла сгиба ψ .

Коэффициент пропорциональности

$$l = \frac{\gamma_0}{\psi_0} = \frac{11^\circ 20'}{90^\circ} = 0,126^\circ \text{ на } 1^\circ \text{ сгиба}$$

Зная изменение угла сгиба в каждом калибре и коэффициент пропорциональности l , получаем величину изменения угла биссектрисы:

$$\Delta\gamma = l \cdot \Delta\psi$$

Значение угла биссектрисы в каждом калибре:

$$\gamma_x = \gamma_{x-1} + \Delta\gamma_x$$

Углы наклона полок:

a/ $\Psi - \frac{\psi}{2} - \gamma$
b/ $\psi - \Psi$

2. Распределение длины полки на прямой и изогнутый участки производится следующим образом. Прямой наклонный участок короткой полки:

$$AB = \frac{1}{4} b ;$$

Длинная прямая наклонная часть:

$$AB' = \frac{1}{3} b$$

Изогнутый участок короткой полки:

$$BD = \frac{3}{4} b$$

Отсюда радиус закругления изогнутой части короткой полки:

$$\rho, \frac{180 \cdot 3/4 b}{3,14 / 90 - \Psi /} = \frac{185 \cdot b}{3,14 / 90 - \Psi} ;$$

Радиус закругления широкой полки в предчистовом калиб-

ре:

$$\beta' = 1,5 \rho ;$$

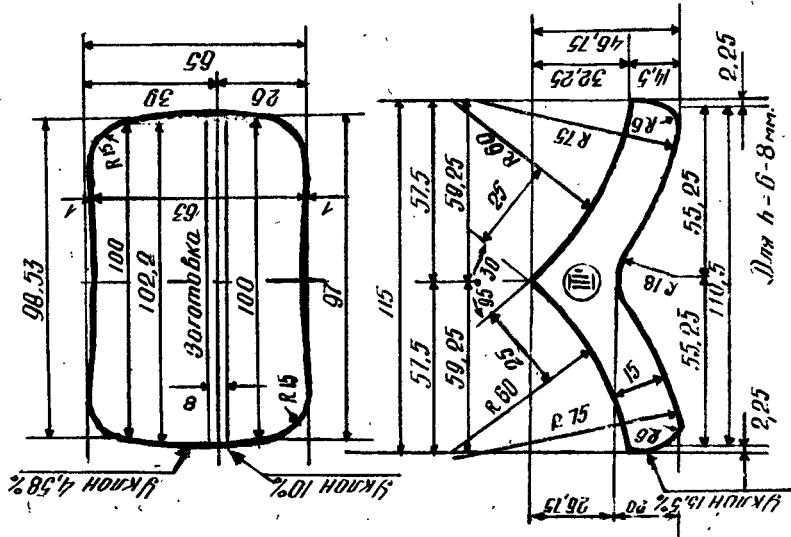
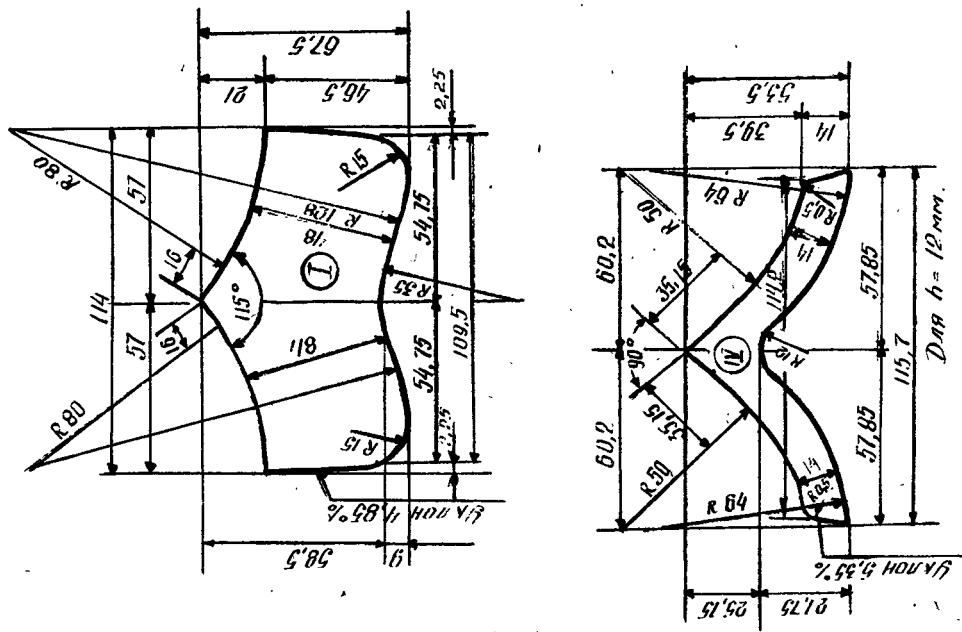
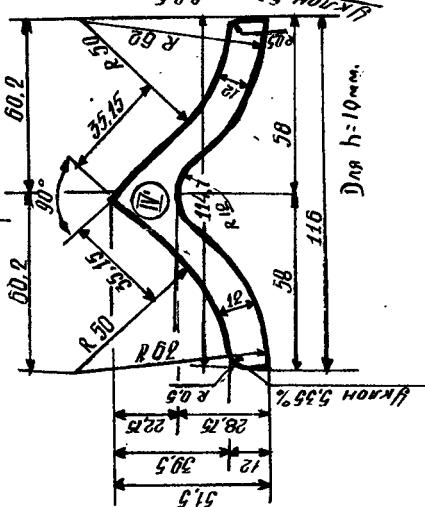
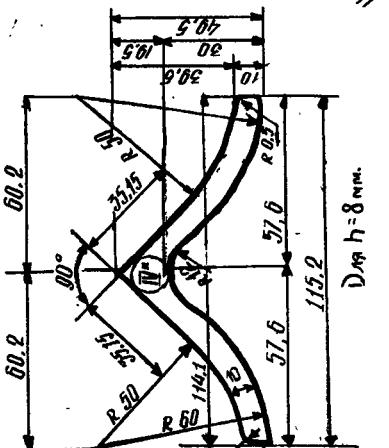
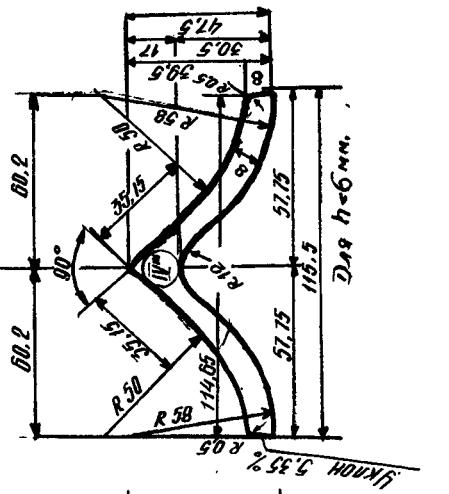
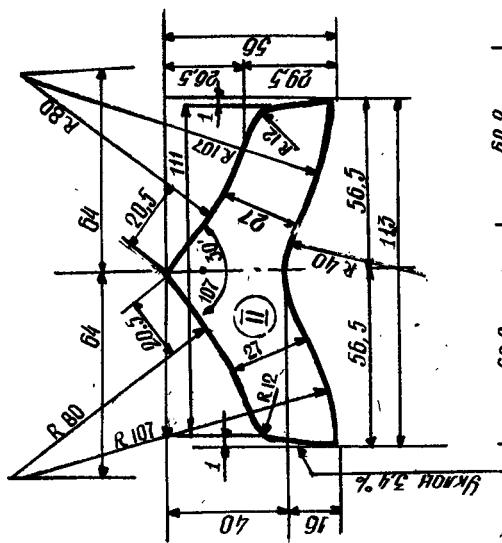
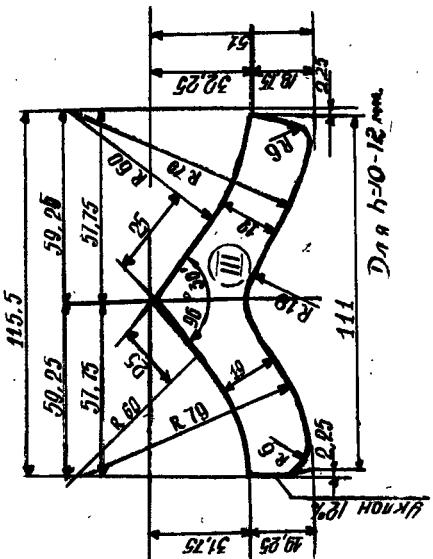


Рис. 39 2.0.е.н.



Puc. Žg 3, U.K., s.l.M

во всех остальных калибрах:

$$\rho' = \frac{F'D' - AB' \cos(\varphi - \psi)}{1 - \sin(\varphi - \psi)}; \text{ или } \rho' = \frac{180 \cdot b''}{\pi [90 - (\varphi - \psi)]};$$

где: $F'D' = FD = AB \cdot \cos \psi + \rho(1 - \sin \psi)$.

Длина изогнутой части широкой полки:

$$b'' = B'D' = \frac{\pi \rho' [90 - (\varphi - \psi)]}{180};$$

Остаток - прямой горизонтальный участок:

$$b''' = D'E = b' - \frac{1}{3}b'' - b'';$$

Уширение распределяется между участками полок пропорционально.

Радиусы закруглений профиля R и S /рис.36/ изменяются пропорционально коэффициентам уменьшения толщины ρ .

Расстояния X и X' - и полная ширина калибра B равны:

$$x = \rho \cdot \cos \psi + AB \cdot \sin \psi;$$

$$x' = \rho' \cdot \cos(\varphi - \psi) + AB' \cdot \sin(\varphi - \psi);$$

$$B = x + x' + b'''.$$

Уклон боковых стенок калибров, с целью повышения продолжительности службы валков, делают не меньше 5% /рис.38/. В предчистовом калибре замок лучше делать в верхней части. В остальных калибрах места разъема валков чередуются.

Все расчетные данные, необходимые для построения калибров, сводим в таблицу 19.

КАЛИБРОВКА ШВЕЛЛЕРА № 24

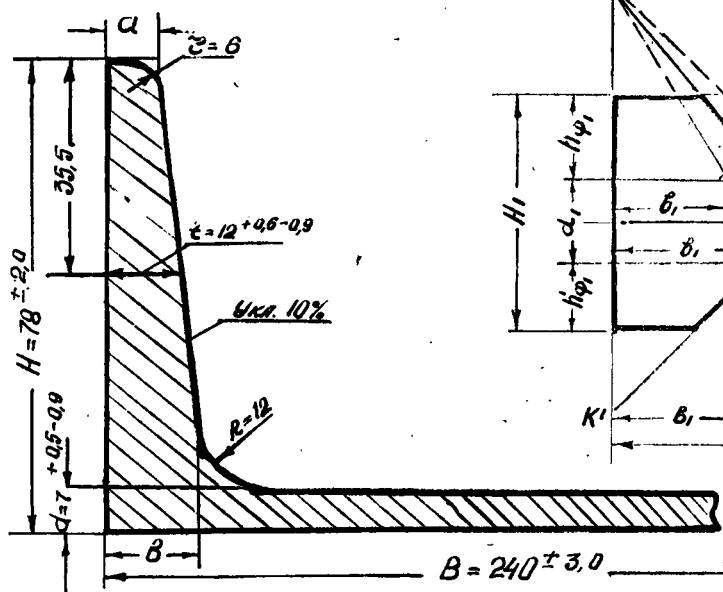
Исходные данные

1. Произвести расчет калибровки швеллера № 24 а
2. Диаметр валков $D_o = 800$ мм
3. Размеры холодного профиля швеллера № 24 а показаны на рис.40 /ОСТ 10017-39/.

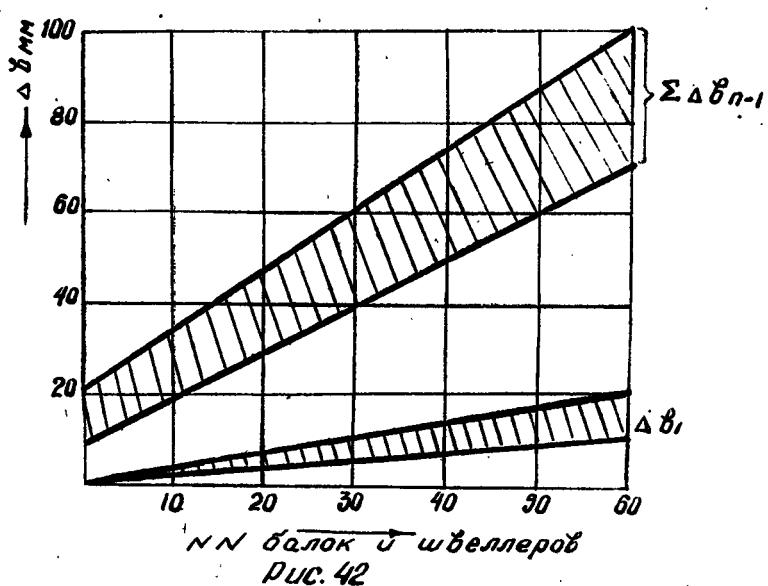
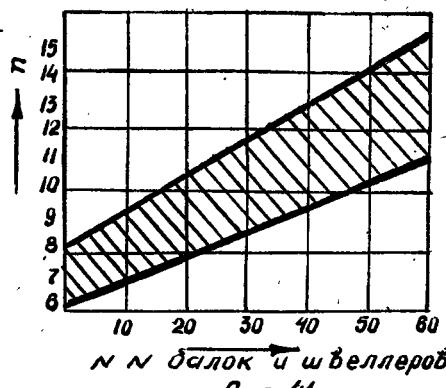
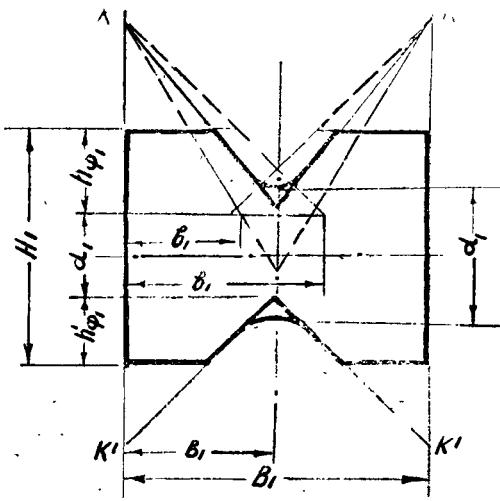
Таблица 19.

Вспомогательная таблица

Радиусы зон кругления		Ширина полок и участков, мм	
	Полок	ширина полок	ширина участков
1	5°40	155,5	74 25 узкая
			60,4 15,1 45,3 - 92
			101,1 33,7 44,0 23,4 149
2	8°40	163,5	41 14 широкая
			68,0 17,0 51,0 - 62
			108,7 36,3 47,0 25,4 122
3	10°20	164,3	23 7,7 узкая
			72,7 18,2 54,5 - 61
			113,4 37,8 49,2 26,4 91
4	11°0	164,2	14 4,8 узкая
			74,7 18,7 56,0 - 58
			115,3 38,4 50,0 26,9 87
5	11°20	144,2	11 3,7 широкая
			75,7 75,7 - - -
			116,2 - - - -



РУС. 40



Определим число фасонных калибров для прокатки швеллера № 24 по графику /рис. 41/.

$n = 9$ проходов

Горячие размеры профиля /с частичным использованием отрицательных допусков/:

$$B_0 = 1240 - 2,0 \cdot 1,013 = 1218 \text{ мм}$$

$$H_0 = 178 - 1,5 \cdot 1,013 = 175,5 \text{ мм}$$

$$\alpha_0 = 7 - 0,6 \cdot 1,013 = 6,5 \text{ мм}$$

$$t_0 = 12 - 0,6 \cdot 1,013 = 11,5 \text{ мм}$$

Высота действительного фланца:

$$h_0 = H_0 - d_0 = 175,5 - 6,5 = 169 \text{ мм}$$

Основания действительного фланца:

$$a_0 = t_0 - 0,5 h_0 \cdot \operatorname{tg} \varphi;$$

$$b_0 = t_0 + 0,5 h_0 \cdot \operatorname{tg} \varphi;$$

где: φ — угол наклона внутренней поверхности фланца.

$$\operatorname{tg} \varphi = 0,1$$

$$a_0 = 11,5 - 0,5 \cdot 169 \cdot 0,1 = 7,95 \text{ мм}$$

$$b_0 = 11,5 + 0,5 \cdot 169 \cdot 0,1 = 15,05 \text{ мм}$$

Относение оснований фланца

$$\frac{a_0}{b_0} = \frac{7,95}{15,05} = 0,53$$

Площадь поперечного сечения фланца:

$$q_{a_0} = 11,5 \cdot 71 = 815 \text{ мм}^2$$

Площадь поперечного сечения чистового калибра:

$$Q_0 = 2q_{a_0} + B_0 \cdot d_0;$$

$$Q_0 = 2 \cdot 815 + 1240 \cdot 6,5 = 3200 \text{ мм}^2.$$

Принимаем два контрольных калибра /У и УШ проход/.

Таблица величин утяжки и удлинения фланцев

Табл.20.

№ балок и швеллеров	Утяжка в закрытом фланце ω	Удлинение в открытом фланце λ
10 - 18	5	0,5
20 - 30	6	1,0
32 - 60	7	1,5

Удлинение в открытых фланцах принимаем 1 мм, а утяжку в закрытых фланцах - 6 мм /в соответствии с табл.20/.

Приращение высоты действительных фланцев δ от выдавливания ложных фланцев принимаем равным 2 мм в чистовом калибре и по 3 мм во всех остальных калибрах.

Определим высоту фланца в разрезном калибре.

$$h_{разр} = h_n - \sum \lambda + \sum \omega - \sum \delta;$$

$$h_{разр} = 71 - 6 + 12 - 23 = 54 \text{ мм.}$$

Высота фланца в любом калибре

$$h_{i-1} = h_i - \lambda_i + \omega_i - \delta_i$$

Расчет высоты фланцев сведем в табл.21.

Расчет
высоты действительных фланцев

Таблица 21.

	№ проходов								Сумма
	9	8	7	6	5	4	3	2	
Удлинение λ мм	1,0	-	1,0	1,0	-	1,0	1,0	1,0	6
Утяжка ω мм	-	6,0	-	-	6,0	-	-	-	12
Выдавливание δ мм	2,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	23
Высота фланца h мм	71	68	71	67	63	66	62	58	54

Уширение предварительно выбираем по графику /рис.42/ :

для разрезного калибра $\Delta\delta_1 = 5 \text{ мм}$

для остальных калибров $\Delta\delta_{2-9} = 40 \text{ мм}$

Общее уширение $\Sigma\Delta\delta_{1-9} = 45 \text{ мм}$

Ширина заготовки.

$$B_0 = b_{\text{ф}} - \sum \Delta b_{\text{ф}} = 241 - 45 = 196 \approx 200 \text{ мм}$$

Ширина разрезного калибра

$$B = 200 + 5 = 205 \text{ мм.}$$

Окончательно определяем уширение в остальных швеллерных калибрах:

$$\sum \Delta b_{\text{ф}} = 241 - 205 = 36 \text{ мм}$$

Большее основание действительного фланца разрезного калибра /рис. 43/.

$b_{\text{ф}} = 0,5 B$, для средних номеров балок и швеллеров;

$b_{\text{ф}} > 0,5 B$, для больших номеров балок и швеллеров;

$b_{\text{ф}} < 0,5 B$, для медких номеров балок и швеллеров.

Принимаем:

$$b_{\text{ф}} = 0,5 B = 0,5 \cdot 205 = 102,5 \text{ мм}$$

Меньшее основание действительного фланца разрезного калибра:

$$a_{\text{ф}} = b_{\text{ф}} - \frac{a_{\text{ф}}}{b_{\text{ф}}} = 102,5 - 0,53 = 54,5 \text{ мм}$$

Площадь действительного фланца разрезного калибра:

$$q_{\text{ф}} = \frac{a_{\text{ф}} + b_{\text{ф}}}{2} \cdot h_{\text{ф}} = \frac{54,5 + 102,5}{2} \cdot 54 = 4240 \text{ мм}^2$$

Площадь ложного фланца $q_{\text{л}}$ может быть равна от 70 до 100 % площади действительного фланца разрезного калибра

Принимаем:

$$q_{\text{л}} = 0,9 q_{\text{ф}} = 0,9 \cdot 4240 \approx 3820 \text{ мм}^2$$

Основания ложных фланцев разрезного калибра такие же, как и у действительных фланцев:

$$a'_{\text{ф}} = a_{\text{ф}} = 54,5 \text{ мм}; \quad b'_{\text{ф}} = b_{\text{ф}} = 102,5 \text{ мм.}$$

Средняя толщина полки ложного фланца:

$$t'_{\text{ф}} = \frac{a'_{\text{ф}} + b'_{\text{ф}}}{2} = \frac{54,5 + 102,5}{2} = 78,5 \text{ мм}$$

Высота ложного фланца в разрезном калибре:

$$h'_{\text{ф}} = \frac{q_{\text{л}}}{t'_{\text{ф}}} = \frac{3820}{78,5} = 48,5 \text{ мм}$$

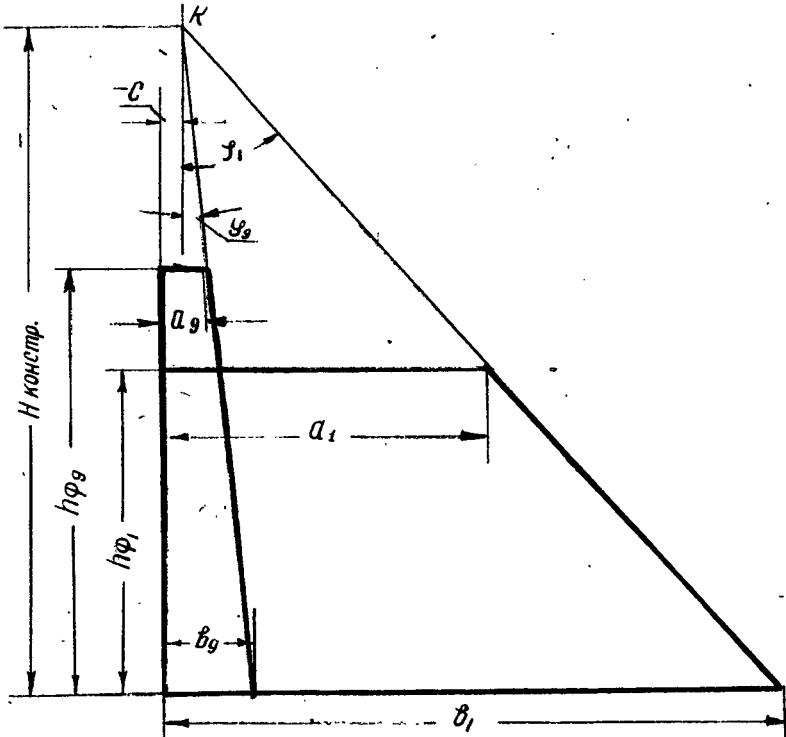


Рис. 44

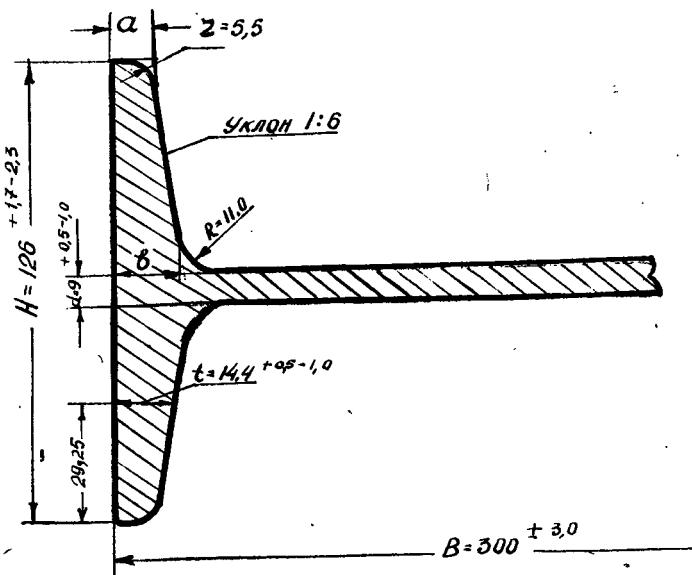


Рис. 46

Толщина шейки разрезного калибра:

$$d_1 = \frac{(q_{\varphi_1} + q'_{\varphi_1}) \cdot d_n}{q_{\varphi_n} + q'_{\varphi_n} + 0,5 d_n \sum \Delta b_{n-1}} ;$$

$$d_1 = \frac{4240 + 3820}{815 + 0 + 0,5 \cdot 6,5 \cdot 36} = 56,2 \text{ мм}$$

Принимаем толщину шейки с учетом закруглений разрезающих гребней /рис.43/:

$$d_1 = 90 \text{ мм.}$$

Площадь разрезного калибра /без учета закруглений/

$$Q_1 = 2(q_{\varphi_1} + q'_{\varphi_1}) + d_1 B_1 ;$$

$$Q_1 = 2/4240 + 3820/ + 56,2 \cdot 205 = 27600 \text{ мм}^2$$

Высота разрезного калибра:

$$H_1 = h_{\varphi_1} + h'_{\varphi_1} + d_1$$

$$H_1 = 54 + 48,5 + 56,2 = 158,7 \text{ мм}$$

Определим высоту заготовки:

$$H_0 = \frac{H_1^2 B_0}{Q_1} = \frac{158,7^2 \cdot 200}{27600} = 182 \approx 180 \text{ мм}$$

Коэффициент вытяжки:

$$\mu_1 = \frac{Q_{\text{заг}}}{Q_1} = \frac{180 \cdot 200}{27600} = 1,30$$

Угол захвата

$$\alpha_1 = \arccos \left(1 - \frac{h}{D_k} \right) ;$$

$$\alpha_1 = \arccos /1 - \frac{180}{800} - \frac{90}{90} / = 29^{\circ}10'$$

$$\alpha_1 < \alpha_{\text{гон}} = 30 + 35^{\circ}.$$

ПРОМЕЖУТОЧНЫЕ КАЛИБРЫ

Общий коэффициент вытяжки в промежуточных калибрах:

$$\mu_{2-9} = \frac{Q_1}{Q_9} = \frac{27600}{3200} = 8,62$$

Распределим вытяжки по проходам

$$\begin{aligned} \mu_{2-9} &= \mu_2 \cdot \mu_3 \cdots \mu_8 \cdot \mu_9 = \\ &= 1,37 \cdot 1,36 \cdot 1,36 \cdot 1,34 \cdot 1,32 \cdot 1,30 \cdot 1,26 \cdot 1,17 = 8,6 \end{aligned}$$

Определим толщину шейки по проходам:

$$\begin{aligned} d_s &= d_9 \cdot \mu_9 = 6,5 \cdot 1,17 = 7,6 \text{ мм;} \\ d_7 &= d_8 \cdot \mu_8 = 7,6 \cdot 1,26 = 9,6 \text{ мм;} \\ d_6 &= 9,6 \cdot 1,30 = 12,5 \text{ мм;} \\ d_5 &= 12,5 \cdot 1,32 = 16,5 \text{ мм;} \\ d_4 &= 16,5 \cdot 1,34 = 22,1 \text{ мм;} \\ d_3 &= 22,1 \cdot 1,36 = 30,1 \text{ мм;} \\ d_2 &= 30,1 \cdot 1,36 = 40,9 \text{ мм;} \\ d_1 &= 40,9 \cdot 1,37 = 56,2 \text{ мм.} \end{aligned}$$

Сумма дробных частей коэффициентов вытяжек

$$\sum (\mu_i - 1) = 0,37 + 0,36 + 0,36 + 0,34 + 0,32 + 0,30 + 0,26 + 0,17 = 2,48.$$

Распределим общее уширение пропорционально дробным частям коэффициентов вытяжек:

$$m = \frac{\sum \Delta b_{2-9}}{\sum (\mu_i - 1)} = \frac{36}{2,48} = 14,5 \text{ мм.}$$

Уширение по проходам:

$$\begin{aligned} \Delta b_2 &= 14,5 \cdot 0,37 = 5,4 \text{ мм;} \\ \Delta b_3 &= 14,5 \cdot 0,36 = 5,2 \text{ мм;} \\ \Delta b_4 &= 14,5 \cdot 0,36 = 5,2 \text{ мм;} \\ \Delta b_5 &= 14,5 \cdot 0,34 = 5,0 \text{ мм;} \\ \Delta b_6 &= 14,5 \cdot 0,32 = 4,6 \text{ мм;} \\ \Delta b_7 &= 14,5 \cdot 0,30 = 4,3 \text{ мм;} \\ \Delta b_8 &= 14,5 \cdot 0,26 = 3,8 \text{ мм;} \\ \Delta b_9 &= 14,5 \cdot 0,17 = 2,5 \text{ мм;} \end{aligned}$$

Из формулы:

$$d_i = \frac{(q_{\varphi_i} + q'_{\varphi_i}) d_{i+1}}{q_{\varphi_{i+1}} + q'_{\varphi_{i+1}} + 0,5 d_{i+1} \cdot \Delta b_{i+1}};$$

Суммарная площадь действительного и ложного фланцев определится как

$$q_{\varphi_i} + q'_{\varphi_i} = \frac{d_i}{d_{i+1}} (q_{\varphi_{i+1}} + q'_{\varphi_{i+1}} + 0,5 d_{i+1} \Delta b_{i+1});$$

$$\text{где: } \frac{d_i}{d_{i+1}} \cong k_{i+1};$$

Суммарная площадь действительного и ложного фланцев по проходам:

$$\begin{aligned} q_{\varphi_1} + q'_{\varphi_1} &= 1,17 / 815 + 0,5 \cdot 6,5 \cdot 2,5 / = 962 \text{ мм}^2 \\ q_{\varphi_2} + q'_{\varphi_2} &= 1,26 / 962 + 0,5 \cdot 7,6 \cdot 3,8 / = 1230 \text{ мм}^2 \\ q_{\varphi_3} + q'_{\varphi_3} &= 1,30 / 1230 + 0,5 \cdot 9,6 \cdot 4,3 / = 1626 \text{ мм}^2 \\ q_{\varphi_4} + q'_{\varphi_4} &= 1,32 / 1626 + 0,5 \cdot 12,5 \cdot 4,6 / = 2184 \text{ мм}^2 \\ q_{\varphi_5} + q'_{\varphi_5} &= 1,34 / 2184 + 0,5 \cdot 16,5 \cdot 5,0 / = 2981 \text{ мм}^2 \\ q_{\varphi_6} + q'_{\varphi_6} &= 1,36 / 2981 + 0,5 \cdot 22,1 \cdot 5,2 / = 4132 \text{ мм}^2 \\ q_{\varphi_7} + q'_{\varphi_7} &= 1,36 / 4132 + 0,5 \cdot 30,1 \cdot 5,2 / = 5726 \text{ мм}^2 \\ q_{\varphi_8} + q'_{\varphi_8} &= 1,37 / 5726 + 0,5 \cdot 40,9 \cdot 5,4 / = 8060 \text{ мм}^2 \end{aligned}$$

Распределим суммарную площадь между действительным и ложным фланцами. Площадь действительного фланца определится по формуле:

$$q_{\varphi} = \frac{q_{\varphi} - q'_{\varphi}}{1 + K};$$

где: К - отношение площадей ложного и действительного фланцев

$$K = \frac{q'_{\varphi_{\text{л}}}}{q_{\varphi_{\text{д}}}};$$

Принимаем следующее распределение коэффициента К по проходам:

Номер проходов																	
:	1	:	2	:	3	:	4	:	5	:	6	:	7	:	8	:	9

$$K \quad 0,9 \quad 0,75 \quad 0,60 \quad 0,50 \quad 0,40 \quad 0,25 \quad 0,15 \quad 0,05 \quad 0$$

Определим площади фланцев:

$$q_{\varphi_2} = \frac{5726}{1 + 0,75} = 3272 \text{ мм}^2$$

$$q'_{\varphi_2} = 5726 - 3272 = 2454 \text{ мм}^2$$

$$q_{\varphi_3} = \frac{4132}{1 + 0,60} = 2582 \text{ mm}^2$$

$$q'_{\varphi_3} = 4132 - 2582 = 1550 \text{ mm}^2$$

$$q_{\varphi_4} = \frac{2981}{1 + 0,5} = 1987 \text{ mm}^2$$

$$q'_{\varphi_4} = 2981 - 1987 = 994 \text{ mm}^2$$

$$q_{\varphi_5} = \frac{2184}{1 + 0,4} = 1560 \text{ mm}^2$$

$$q'_{\varphi_5} = 2184 - 1560 = 624 \text{ mm}^2$$

$$q_{\varphi_6} = \frac{1626}{1 + 0,25} = 1302 \text{ mm}^2$$

$$q'_{\varphi_6} = 1626 - 1301 = 325 \text{ mm}^2$$

$$q_{\varphi_7} = \frac{1230}{1 + 0,15} = 1070 \text{ mm}^2$$

$$q'_{\varphi_7} = 1230 - 1070 = 160 \text{ mm}^2$$

$$q_{\varphi_8} = \frac{962}{1 + 0,05} = 916 \text{ mm}^2$$

$$q'_{\varphi_8} = 962 - 916 = 46 \text{ mm}^2$$

$$q_{\varphi_9} = \frac{815}{1 + 0} = 815 \text{ mm}^2$$

$$q'_{\varphi_9} = 0$$

Средняя толщина действительных фланцев:

$$t_2 = \frac{q_{\varphi_3}}{h_2} = \frac{3272}{58} = 56,4 \text{ mm}$$

$$t_3 = \frac{2582}{62} = 41,6 \text{ mm}$$

$$t_4 = \frac{1987}{66} = 30,1 \text{ mm}$$

$$t_5 = \frac{1560}{68} = 24,8 \text{ мм}$$

$$t_6 = \frac{1301}{67} = 19,4 \text{ мм}$$

$$t_7 = \frac{1070}{71} = 15,1 \text{ мм}$$

$$t_8 = \frac{916}{68} = 13,5 \text{ мм}$$

Координаты конструкционной точки /рис.44/ определяем по имеющимся размерам 1 и 1Х калибров.

$$\operatorname{tg}\varphi_1 = \frac{b_1 - a_1}{h_1} = \frac{102,5 - 54,5}{54} = 0,89$$

$$c = \frac{b_1 \cdot \operatorname{tg}\varphi_1 - b_2 \cdot \operatorname{tg}\varphi_1}{\operatorname{tg}\varphi_1 - \operatorname{tg}\varphi_2}$$

$$c = \frac{102,5 \cdot 0,1 - 15,05 \cdot 0,89}{0,89 - 0,1} = - 4 \text{ мм}$$

$$H_{\text{констр.}} = \frac{c + b_1}{\operatorname{tg}\varphi_1} = \frac{-4 + 102,5}{0,89} = 110 \text{ мм}$$

В промежуточных калибрах $\operatorname{tg}\varphi$ определяем по формуле:

$$\operatorname{tg}\varphi = \frac{t + c}{H_{\text{констр.}} - 0,5h}$$

$$\operatorname{tg}\varphi_2 = \frac{56,4 - 4}{110 - 0,5 \cdot 58} = 0,65$$

$$\operatorname{tg}\varphi_3 = \frac{41,6 - 4}{110 - 0,5 \cdot 62} = 0,46$$

$$\operatorname{tg}\varphi_4 = \frac{30,1 - 4}{110 - 0,5 \cdot 66} = 0,34$$

$$\operatorname{tg}\varphi_5 = \frac{24,8 - 4}{110 - 0,5 \cdot 68} = 0,26$$

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{19,4 - 4}{110 - 0,5 \cdot 67} = 0,20$$

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{15,1 - 4}{110 - 0,5 \cdot 71} = 0,14$$

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{13,5 - 4}{110 - 0,5 \cdot 68} = 0,13$$

Большие основания действительных фланцев:

$$b_2 = H_{\text{конст}} \cdot \operatorname{tg} \varphi_2 - c;$$

$$b_2 = 110 \cdot 0,65 + 4 = 75,5 \text{ мм}$$

$$b_3 = 110 \cdot 0,46 + 4 = 54,6 \text{ мм}$$

$$b_4 = 110 \cdot 0,34 + 4 = 41,4 \text{ мм}$$

$$b_5 = 110 \cdot 0,26 + 4 = 32,6 \text{ мм}$$

$$b_6 = 110 \cdot 0,20 + 4 = 26,0 \text{ мм}$$

$$b_7 = 110 \cdot 0,14 + 4 = 19,4 \text{ мм}$$

$$b_8 = 110 \cdot 0,13 + 4 = 18,3 \text{ мм}$$

Малые основания действительных фланцев:

$$a_2 = 2t_2 - b_2;$$

$$a_2 = 2 \cdot 56,4 - 75,5 = 37,3 \text{ мм}$$

$$a_3 = 2 \cdot 41,6 - 54,6 = 28,6 \text{ мм}$$

$$a_4 = 2 \cdot 30,1 - 41,4 = 18,8 \text{ мм}$$

$$a_5 = 2 \cdot 24,8 - 32,6 = 17 \text{ мм}$$

$$a_6 = 2 \cdot 19,4 - 26 = 12,8 \text{ мм}$$

$$a_7 = 2 \cdot 15,1 - 19,4 = 10,8 \text{ мм}$$

$$a_8 = 2 \cdot 13,5 - 18,3 = 8,7 \text{ мм}$$

Ширина калибров:

$$B_2 = B_1 + \Delta b_2 = 205 + 5,4 = 210,4 \text{ мм}$$

$$B_3 = 210,4 + 5,2 = 215,6 \text{ мм}$$

$$B_4 = 215,6 + 5,2 = 220,8 \text{ мм}$$

$$B_5 = 220,8 + 5,0 = 225,8 \text{ мм}$$

$$B_6 = 225,8 + 4,6 = 230,4 \text{ мм}$$

$$B_7 = 230,4 + 4,3 = 234,7 \text{ мм}$$

$$B_8 = 234,7 + 3,8 = 238,5 \text{ мм}$$

$$B_9 = 238,5 + 2,5 = 241,0 \text{ мм}$$

Большие основания ложных фланцев:

$$b'_2 = b_2 + 0,5 d_2 \cdot \operatorname{tg} \varphi_2;$$

$$b'_2 = 75,5 + 0,5 \cdot 40,9 \cdot 0,65 = 88,8 \text{ мм}$$

$$b'_3 = 54,6 + 0,5 \cdot 30,1 \cdot 0,46 = 61,5 \text{ мм}$$

$$b'_4 = 41,4 + 0,5 \cdot 22,1 \cdot 0,34 = 45,2 \text{ мм}$$

$$b'_5 = 32,6 + 0,5 \cdot 16,5 \cdot 0,26 = 34,7 \text{ мм}$$

$$b'_6 = 26,0 + 0,5 \cdot 12,5 \cdot 0,20 = 27,3 \text{ мм}$$

$$b'_7 = 19,4 + 0,5 \cdot 9,6 \cdot 0,14 = 20,1 \text{ мм}$$

$$b'_8 = 18,3 + 0,5 \cdot 7,6 \cdot 0,13 = 18,8 \text{ мм}$$

Малые основания ложных фланцев.

$$a'_2 = b'_2 \frac{d_2}{b_2};$$

$$a'_2 = 88,8 \cdot \frac{37,3}{75,5} = 43,9 \text{ мм}$$

$$a'_3 = 61,5 \cdot \frac{28,6}{54,6} = 32,2 \text{ мм}$$

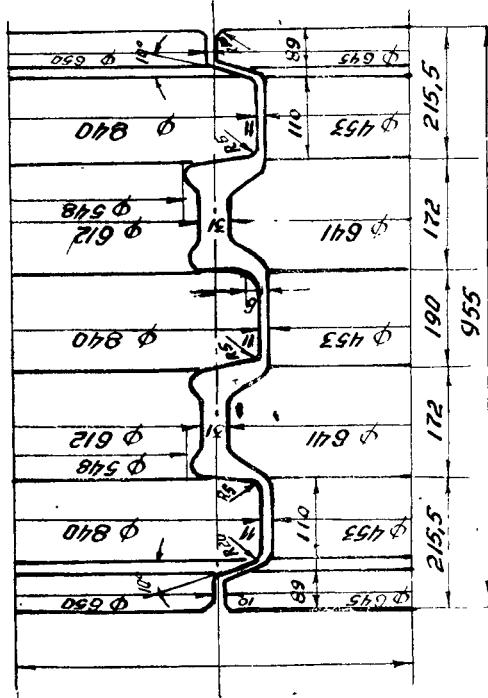
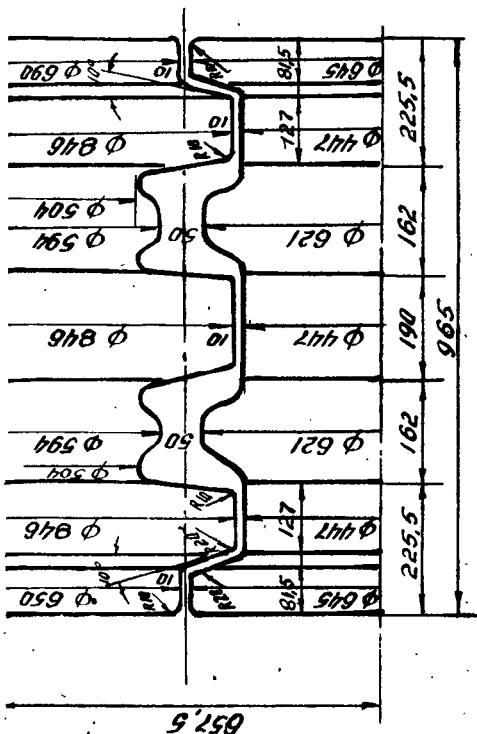
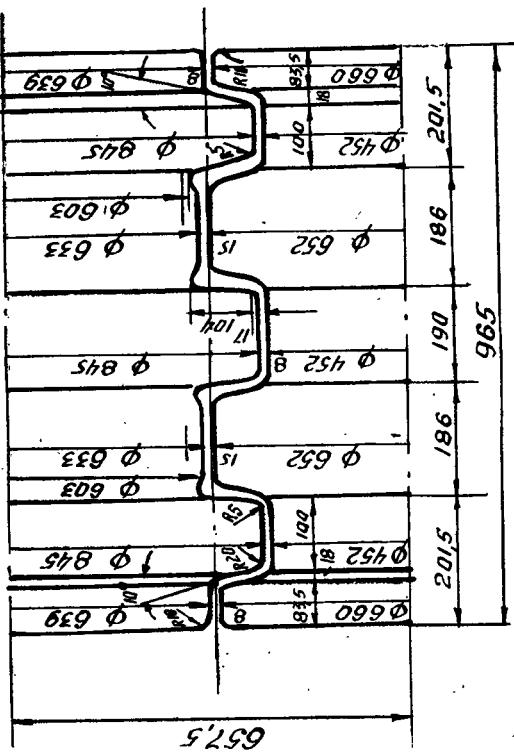
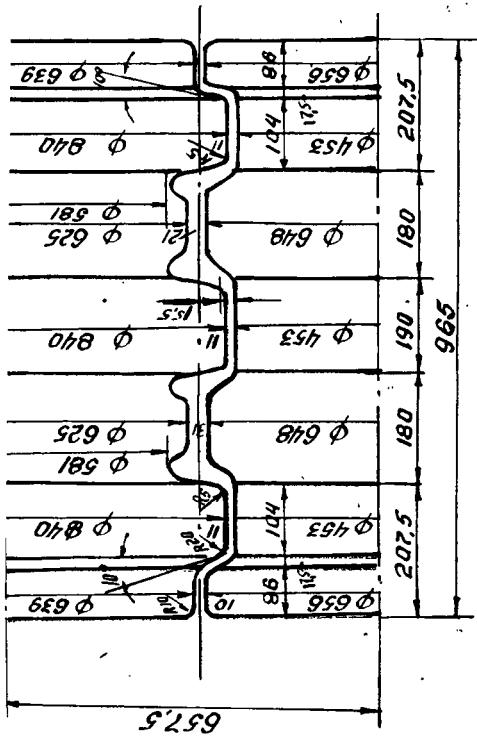
$$a'_4 = 45,2 \cdot \frac{18,8}{41,4} = 20,5 \text{ мм}$$

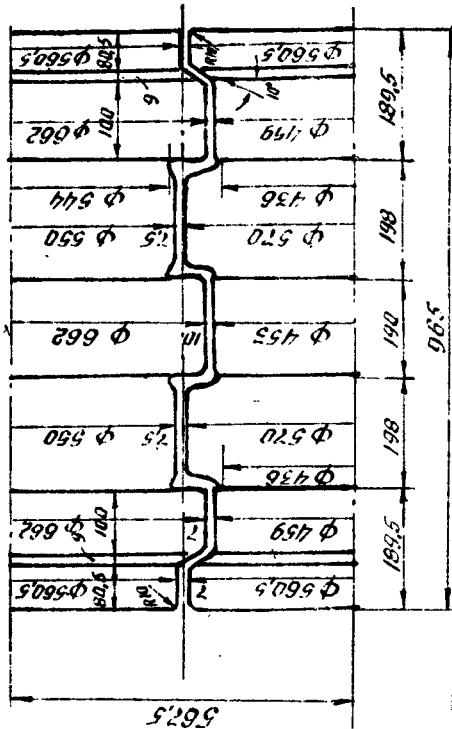
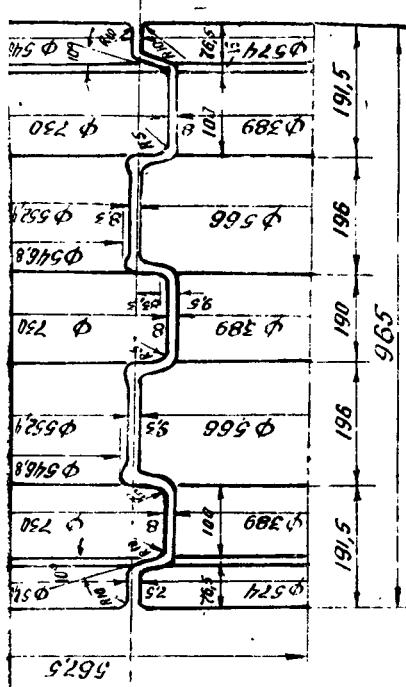
$$a'_5 = 34,7 \cdot \frac{17}{32,6} = 18,1 \text{ мм}$$

$$a'_6 = 27,3 \cdot \frac{12,8}{26,0} = 15,0 \text{ мм}$$

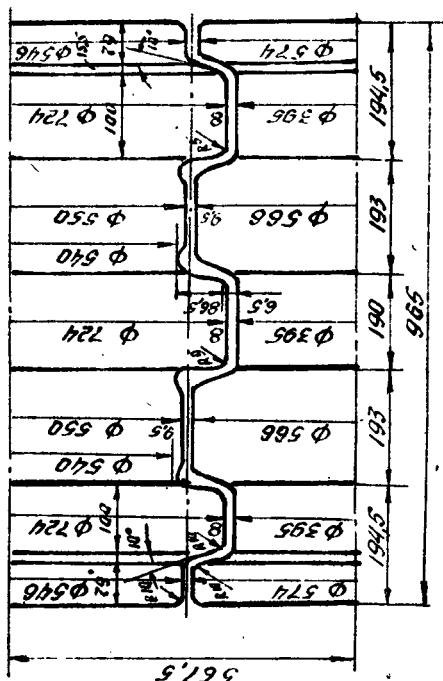
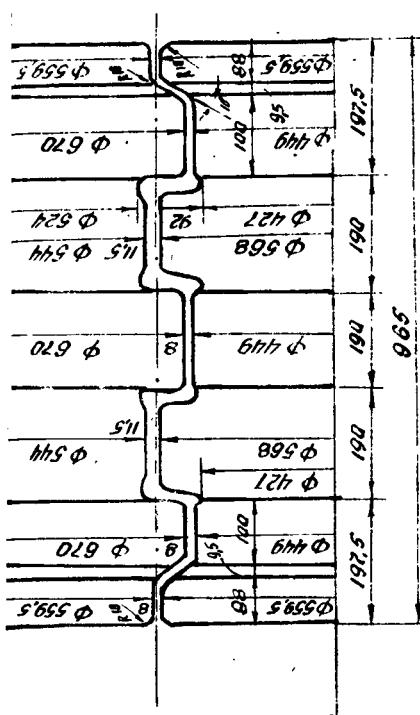
$$a'_7 = 20,1 \cdot \frac{10,8}{19,4} = 11,2 \text{ мм}$$

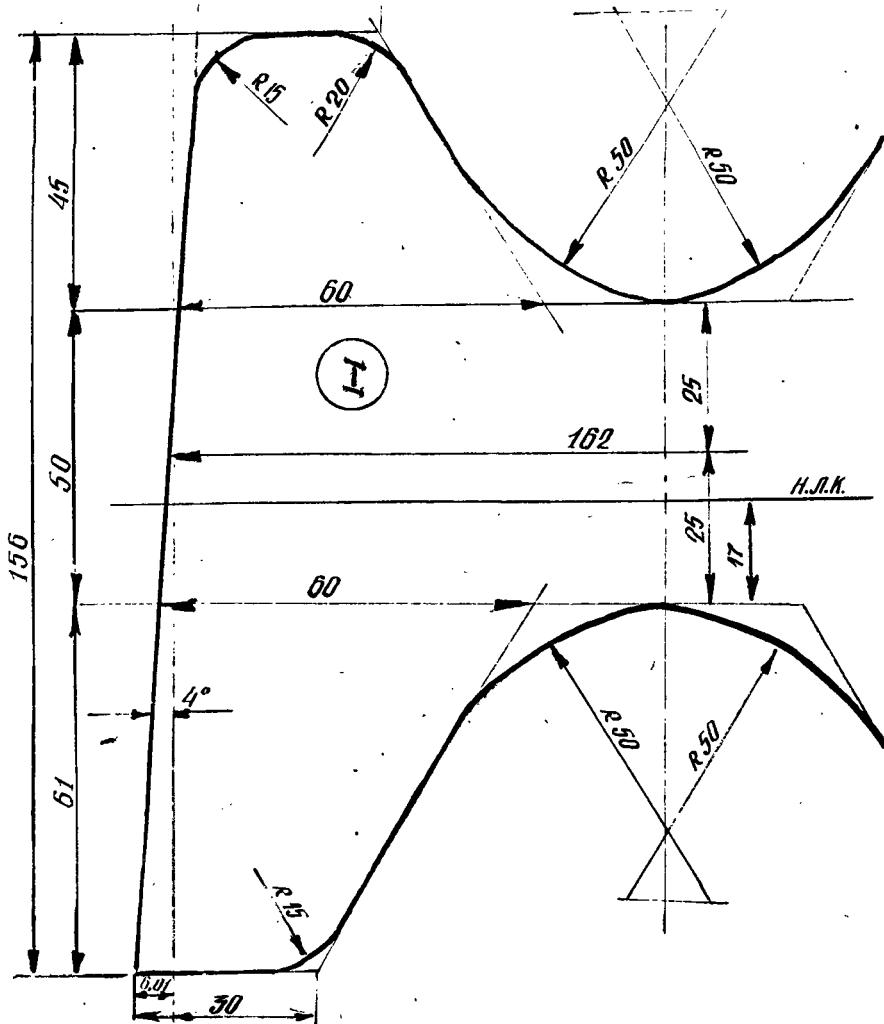
$$a'_8 = 18,8 \cdot \frac{8,7}{18,3} = 9,0 \text{ мм}$$



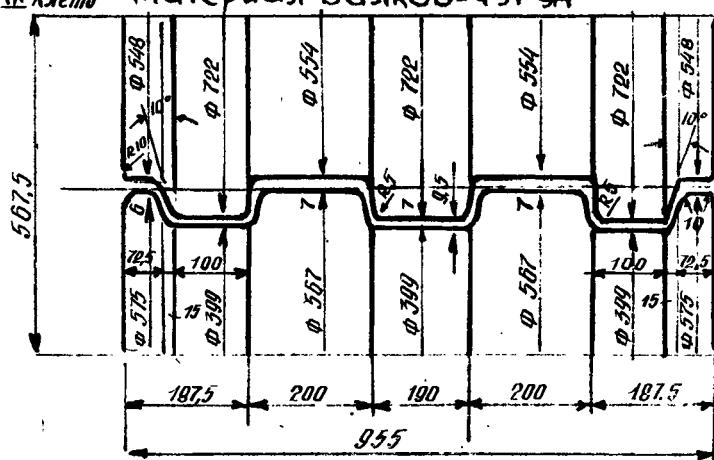


P.C.C. 475. 2, e, XC. 3.





IX клеть Материал валков-чугун



Дис. 45 У.К.

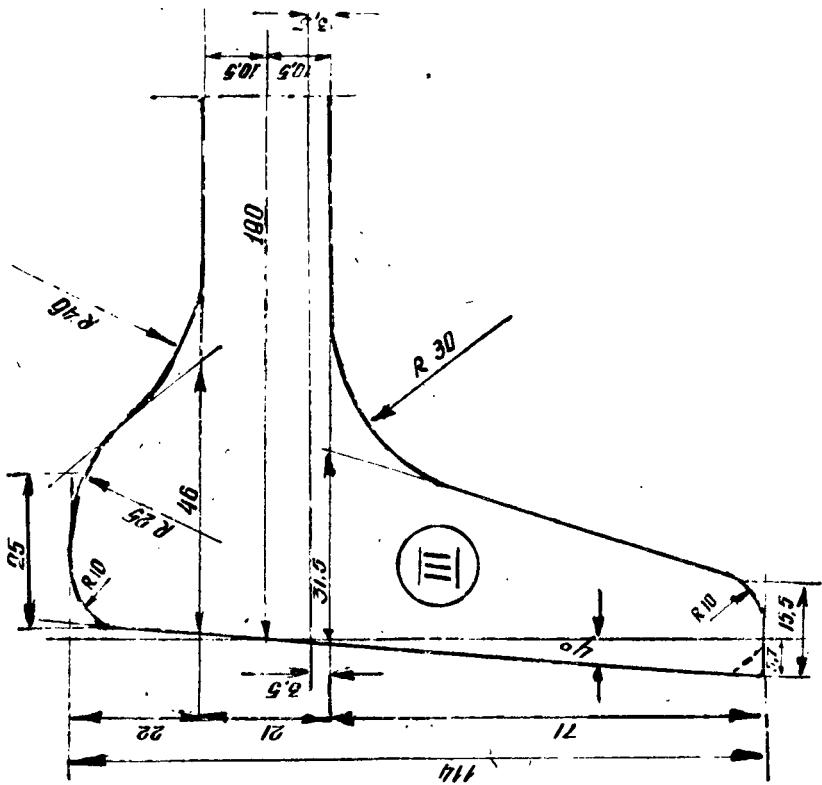
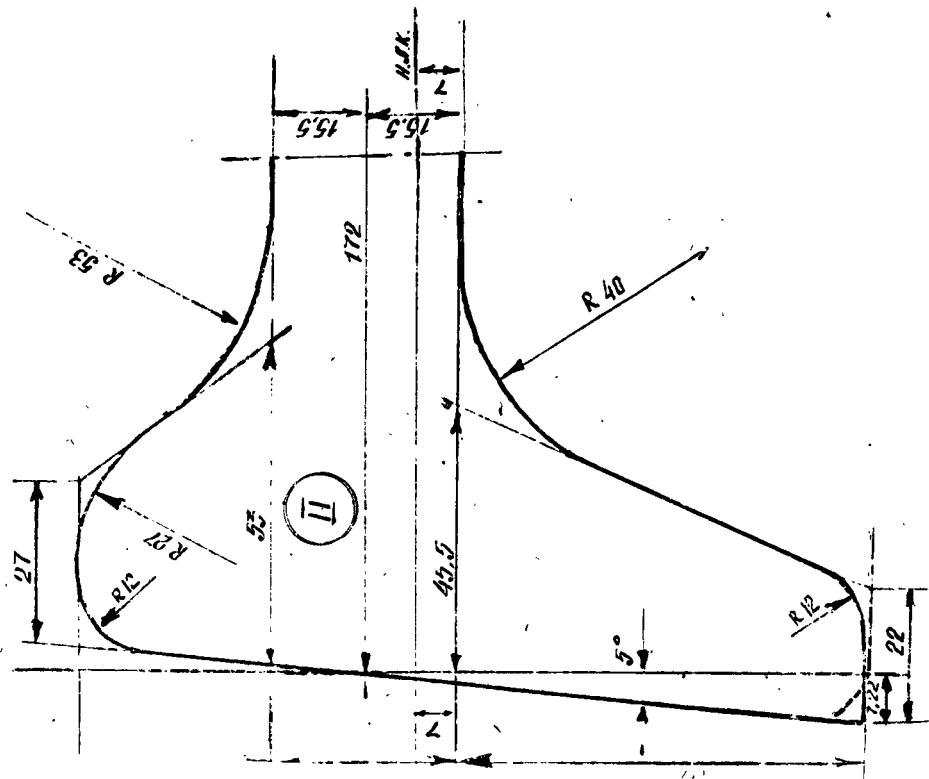


Рис. 45 а, м.



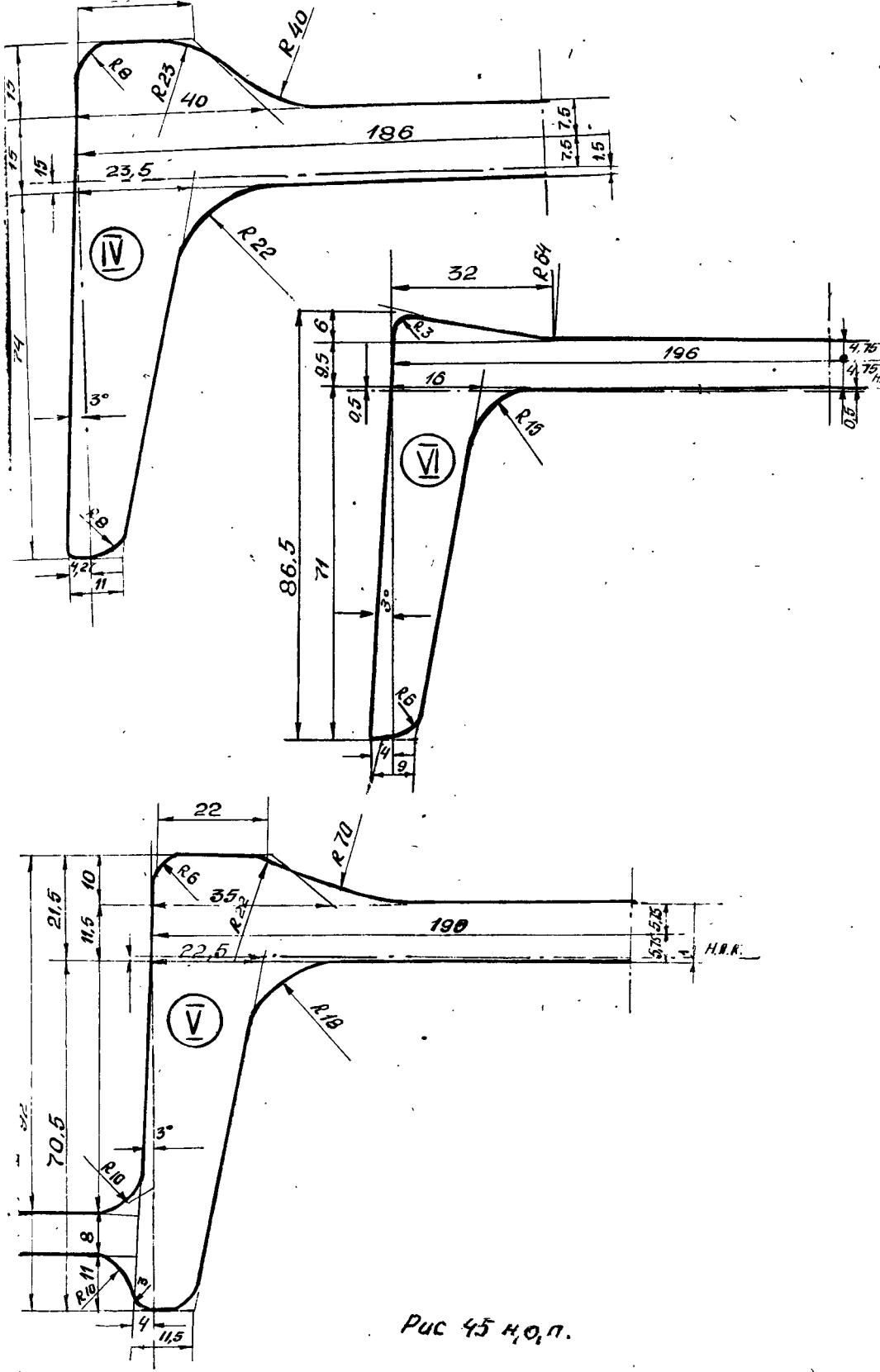


Рис. 45 А.О.н.

Таблица 22

ТАБЛИЦА КАЛИБРОВКИ ШВЕЛЛЕРА № 24

- 100 -

	Действительные фланцы			Ложные фланцы		
0	3 8 9 0	т о в к а	180 x 200	мм	48,5	102,5
1	205	56,2	1,30	4240	54	102,5
2	210,4	40,9	1,37	3272	58	75,5
3	215,6	30,1	1,36	2582	62	54,6
4	220,8	22,1	1,36	1987	66	41,4
5	225,8	16,5	1,34	1560	63	32,6
6	230,4	12,5	1,32	1301	67	26,0
7	234,7	9,6	1,30	1070	71	19,4
8	238,5	7,6	1,26	916	68	18,3
9	214	6,5	1,17	815	71	15,05
					7,95	0
					0	0
					0	0

Горячие размеры профиля /с частичным использованием отрицательных допусков/:

$$B_n = B_{10} = /300 - 2/ \cdot 1,014 = 302,2 \text{ мм}$$

$$H_n = H_{10} = /126 - 1,5/ \cdot 1,014 = 126,2 \text{ мм}$$

$$d_{10} = /9,0 - 0,5/ \cdot 1,014 = 8,6 \text{ мм}$$

$$t_{10} = /14,4 - 0,5/ \cdot 1,014 = 14,1 \text{ мм}$$

Высота фланца

$$h_{10} = \frac{H_{10} - d_{10}}{2} = \frac{126,2 - 8,6}{2} = 58,8 \text{ мм}$$

Большое основание фланца

$$b_{10} = t_{10} + 0,5 h_{10}; t_{10} \varphi_{10} = 14,1 + 0,5 \cdot 58,8 \cdot 0,167 = 19,0 \text{ мм}$$

Малое основание фланца:

$$a_{10} = 2t_{10} - b_{10} = 2 \cdot 14,1 - 19,0 = 9,2 \text{ мм}$$

Площадь поперечного сечения фланца:

$$q_{\varphi_{10}} = t_{10} \cdot h_{10} = 14,1 \cdot 58,8 = 828 \text{ мм}^2$$

Площадь поперечного сечения чистового калибра

$$Q_{10} = 2q_{\varphi_{10}} + B_{10} \cdot d_{10};$$

$$Q_{10} = 2 \cdot 828 + 302,2 \cdot 8,6 = 5918 \text{ мм}^2$$

Отношение оснований фланца

$$\frac{a_{10}}{b_{10}} = \frac{9,2}{19,0} = 0,48$$

Уширение предварительно выбираем по графику 42:

для разрезного калибра $\Delta b_1 = 10 \text{ мм};$

для остальных калибров $\Delta b_{2-10} = 45 \text{ мм};$

общее уширение $\Sigma \Delta b_{1-10} = 55 \text{ мм}.$

Ширина заготовки

$$B_0 = b_{10} - \sum \Delta b_{1-10} = 302,2 - 55 = 247,2 \approx 250 \text{ мм}$$

Ширина разрезного калибра:

$$B_1 = 250 + 10 = 260 \text{ мм}$$

Окончательно определяем уширение в остальных /кроме разрезного/ балочных калибрах:

$$\Delta b = 302,2 - 260 = 42,2 \text{ мм.}$$

Принимая, в соответствии с табл.20, величину удлинения в открытых $\lambda = 1,0$ мм, а утяжки в закрытых фланцах $\omega = 6$ мм, определим высоту фланцев во всех калибрах /табл.23/.

Расчет высоты фланцев

Табл.23

Фланцы	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
Верхний	58,8 отк.	58,0	64	63	69	68	74	73	79	78
Нижний	58,8 закр.	65	64	70	69	75	74	80	79	85

При заполнении табл.23 принимаем в чистовом калибре верхний фланец открытым, а нижний закрытым. Высоту фланцев предчистового калибра округляем до целых чисел для удобства дальнейшего расчета.

Определим размеры разрезного калибра.

Принимаем величину большого основания открытого фланца разрезного калибра:

$$b_1 = 0,5 B;$$

$$b_1 = 0,5 \cdot 260 = 130 \text{ мм.}$$

Малое основание того же фланца:

$$a_1 = \frac{a_0 b_1}{b_0} = 0,48 \cdot 130 = 62,4 \text{ мм.}$$

Площадь открытого фланца

$$Q_{\text{от}} = \frac{a_1 + b_1}{2} h_1 = \frac{130 + 62,4}{2} \cdot 85 = 8190 \text{ мм}^2$$

Угол наклона разрезающего гребня:

$$\operatorname{tg} \varphi_1 = \frac{b_1 - a_1}{h_1} = \frac{130 - 62,4}{85} = 0,795$$

Координаты конструкционной точки:

$$C = \frac{130 - 0,167 - 0,795}{0,795 - 0,167} = 10,5 \text{ мм}$$

$$H_{\text{констр.}} = \frac{10,5 + 130}{0,795} = 177 \text{ мм}$$

Закрытый фланец того же калибра

Площадь

$$q'_{\varphi} = q_{\varphi} = 8190 \text{ мм}^2$$

Средняя толщина фланца

$$t'_{\varphi} = \frac{q'_{\varphi}}{h'} = \frac{8190}{78} = 105 \text{ мм}$$

Угол наклона разрезающего гребня

$$\operatorname{tg} \psi' = \frac{t + C}{H_{\text{констр.}} - 0,5h} = \frac{105 + 10,5}{177 - 0,5 \cdot 78} = 0,836$$

Большое основание закрытого фланца:

$$b'_{\varphi} = H_{\text{констр.}} \cdot \operatorname{tg} \psi' - C = 177 \cdot 0,836 - 10,5 = 137,5 \text{ мм}$$

Малое основание закрытого фланца:

$$a'_{\varphi} = 2t'_{\varphi} - b'_{\varphi} = 2 \cdot 105 - 137,5 = 72,5 \text{ мм.}$$

Толщина шейки разрезного калибра:

$$\alpha_1 = \frac{2q_{\varphi} \cdot d_{10}}{2q_{\varphi} + 0,5d_{10} \cdot \sum \Delta b_{2-10}};$$

$$d_1 = \frac{2 \cdot 8190 \cdot 8,6}{2 \cdot 828 + 0,5 \cdot 42,2 \cdot 8,6} = 77 \text{ мм}$$

С учетом закруглений гребня принимаем

$$d_1 = 110 \text{ мм.}$$

Общая высота калибра:

$$H_1 = h_3 + h_{10} + d_1 = 85 + 78 + 77 = 240 \text{ мм}$$

Площадь разрезного калибра:

$$Q_1 = 4q_{\varphi} + d_1 B_1;$$

$$Q_1 = 4 \cdot 8190 + 77 \cdot 260 = 52760 \text{ мм}^2.$$

Высота исходной заготовки

$$H_0 = \frac{H_1^2 \cdot B_0}{Q_1} = \frac{240^2 \cdot 250}{52760} = 273 \text{ мм}$$

Угол захвата в разрезном калибре.

$$\alpha_i = \arccos /1 - \frac{273 - 110}{850 - 110} / = 39^\circ$$

При искусственно загрубленной поверхности гребня угол захвата в разрезных калибрах

$$\alpha_{\text{гон}} = 30 \div 35^\circ$$

В нашем случае угол захвата получился выше предельно допустимого, т.к. соотношение

$$b_i = 0,5 B_i$$

в данном случае выбрано неудачно

Примем

$$b_i = 0,55 B_i$$

и повторим расчет размеров разрезного калибра.

В результате расчета получаем размеры открытого фланца:

$$b_i = 143 \text{ мм};$$

$$a_i = 69 \text{ мм};$$

$$\operatorname{tg} \psi_i = 0,87$$

$$q_{\varphi i} = 9000 \text{ мм}^2$$

Координаты конструкционной точки:

$$C = 10,4; H_{\text{конст}} = 176 \text{ мм.}$$

Размеры закрытого фланца:

$$b_i = 151,6 \text{ мм}; a_i = 79,4 \text{ мм};$$

$$\operatorname{tg} \psi_i = 0,92$$

Толщина шейки

$$d_i = 79,4 \text{ мм.}$$

Высота разрезного калибра:

$$H_i = 247 \text{ мм.}$$

Площадь разрезного калибра:

$$Q_i = 57100 \text{ мм}^2.$$

Высота исходной заготовки:

$$H_0 = \frac{247 + 250}{57100} = 265 \text{ мм}$$

Угол захвата /при $d_i = 150 \text{ мм}/.$

$$\alpha_i = \arccos \frac{1}{1} - \frac{265 - 150}{850 - 150} \% = 33^\circ$$

Коэффициент вытяжки в разрезном калибре:

$$\mu_1 = \frac{265 + 250}{57100} = 1,16$$

ПРОМЕЖУТОЧНЫЕ КАЛИБРЫ

Общий коэффициент вытяжки в промежуточных калибрах:

$$\sum \mu_{2-10} = \frac{Q_1}{Q_{10}} = \frac{57100}{5918} = 9,7$$

Распределим вытяжки по проходам:

$$\sum \mu_{\varphi_{2-10}} = \mu_1 \cdot \mu_2 \cdots \mu_9 \cdot \mu_{10} = \\ = 1,33 \cdot 1,36 \cdot 1,36 \cdot 1,35 \cdot 1,32 \cdot 1,30 \cdots 1,27 \cdot \\ \cdot 1,19 \cdot 1,13 = 9,7$$

Общий коэффициент вытяжки во фланцах:

$$\sum \mu_{\varphi_{10}} = \frac{Q_1}{Q_{10}} = \frac{9000}{828} = 10,9$$

Поправочный коэффициент

$$m = \sqrt[n-1]{\frac{\sum \mu_{\varphi_{n-1}}}{\sum \mu_{\varphi_{n-1}}}} = \sqrt[9]{\frac{10,9}{9,7}} = 1,014$$

Коэффициенты вытяжки во фланцах:

$$\sum \mu_{\varphi_{2-10}} = \mu_1 \cdot m \cdot \mu_2 = 1,014 \cdot 1,33 = 1,35 \text{ и т.д.} \\ \sum \mu_{\varphi_{2-10}} = 1,35 \cdot 1,38 \cdot 1,38 \cdots 1,37 \cdot 1,34 \cdot 1,32 \cdot 1,28 \cdots \\ \cdots 1,20 \cdot 1,14 = 10,9$$

Зная эти коэффициенты вытяжки можно определить площади фланцев по проходам.

Толщина шейки и уширение по проходам определяется так же как и в расчете калибровки швеллера по балочному методу.

Определение размеров оснований фланцев в четных и нечетных проходах несколько отличается одно от другого.

В четных проходах /например, П проход/.

Координаты конструкционной точки С и $H_{констр.}$ были определены выше.

Определим среднюю толщину открытого фланца:

$$t_2 = \frac{q_{\varphi_2}}{h_2} = \frac{6680}{79} = 84,4 \text{ мм.}$$

Средняя толщина закрытого фланца в четном проходе:

$$t'_2 = t_2 = 84,4 \text{ мм.}$$

Тангенс угла наклона внутренней стенки фланца:

$$\operatorname{tg}\psi = \operatorname{tg}\psi' = \frac{t_2 + c}{H_{констр.} - 0,5h_2} = \frac{84,4 + 10,4}{176 - 0,5 \cdot 79} = 0,695.$$

Большое основание фланца.

$$b_4 = b'_2 - H_{констр.} \operatorname{tg}\psi - c = 176 \cdot 0,695 - 10,4 = 111,8 \text{ мм.}$$

Малое основание

$$a_2 = a'_2 = 2t_2 - b_2 = 2 \cdot 84,4 - 111,8 = 57,0 \text{ мм}$$

Нечетный проход /III/

Средняя толщина открытого фланца

$$t_3 = \frac{4840}{80} = 60,5 \text{ мм}$$

Тангенс угла наклона внутренней стенки открытого фланца

$$\operatorname{tg}\psi_3 = \frac{10,4 + 60,5}{176 - 0,5 \cdot 80} = 0,525.$$

Большое основание

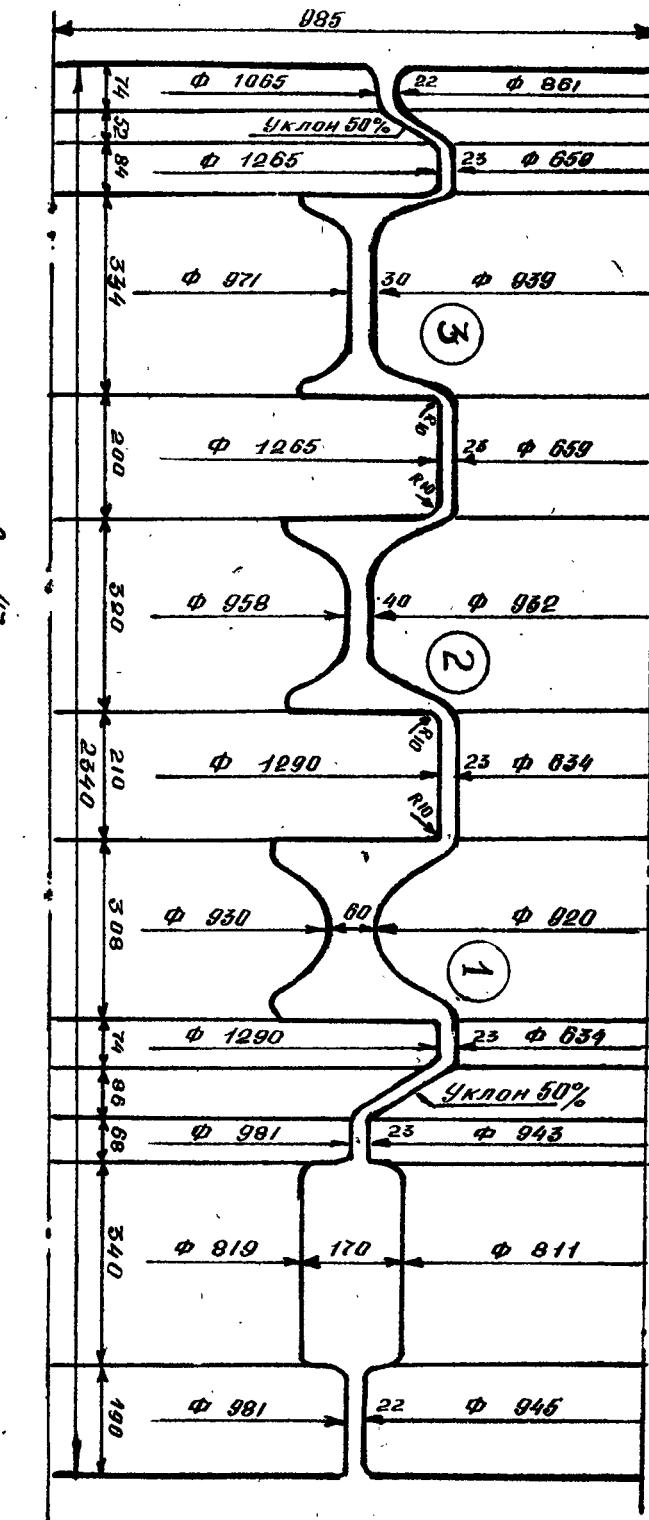
$$b_3 = 176 \cdot 0,525 - 10,4 = 81,9 \text{ мм}$$

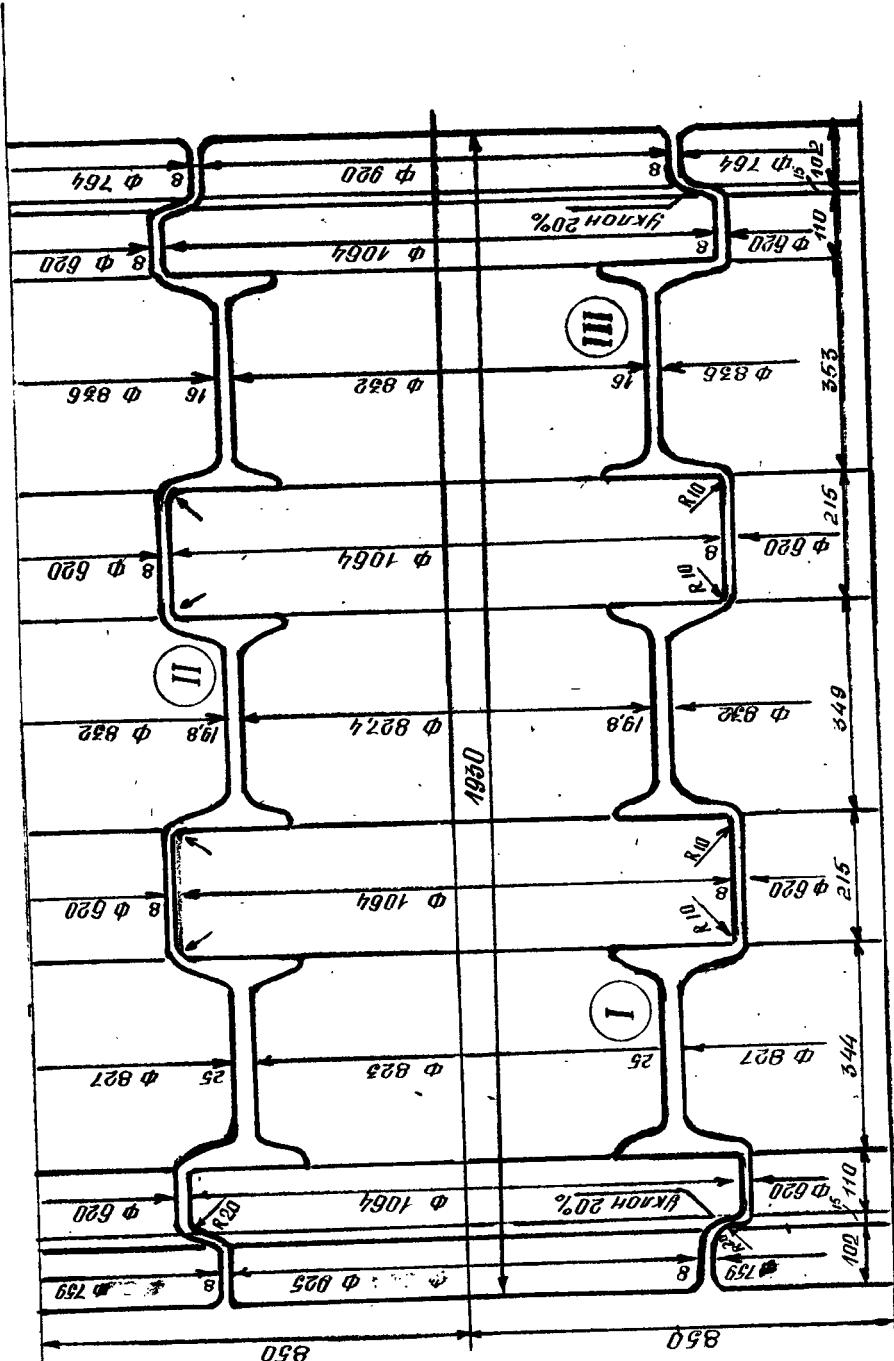
Малое основание

$$a_3 = 2 \cdot 60,5 - 81,9 = 39,1 \text{ мм}$$

Обжимные кольца.

Маневровые танки - ковшовая смесь.





د. ۴۷

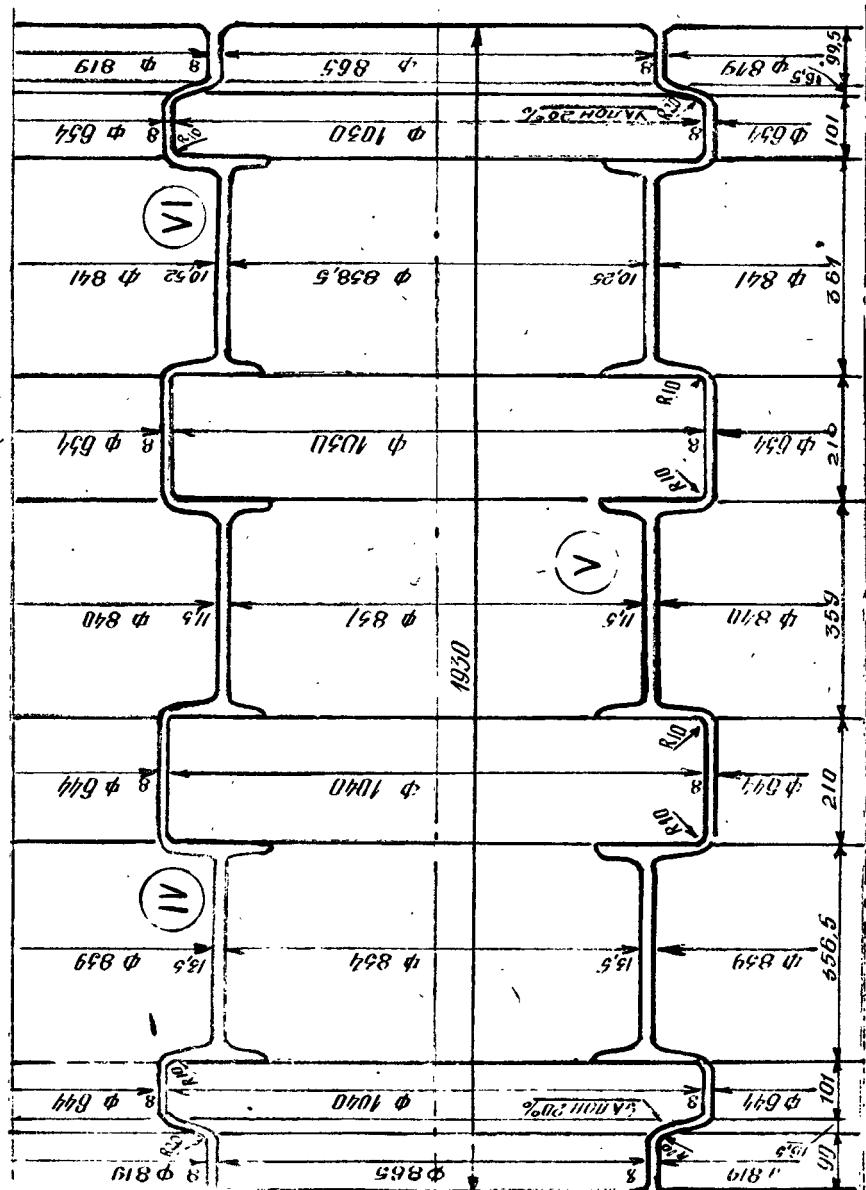
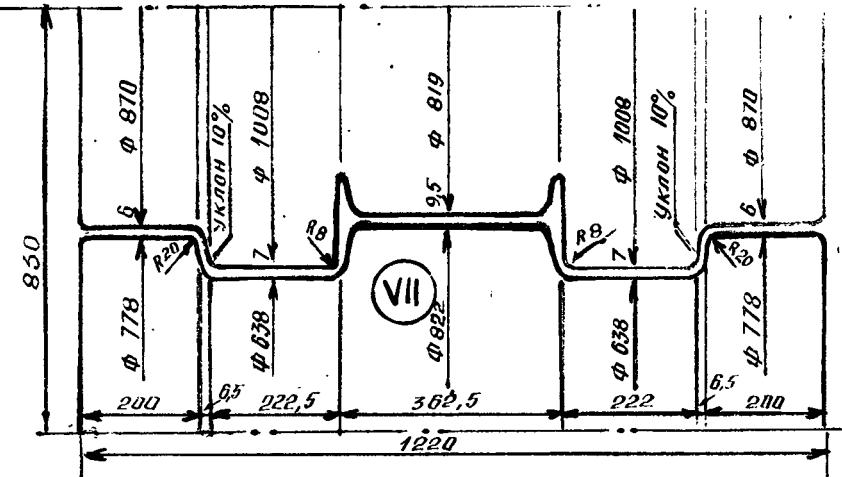


Рис. 47 б.2.

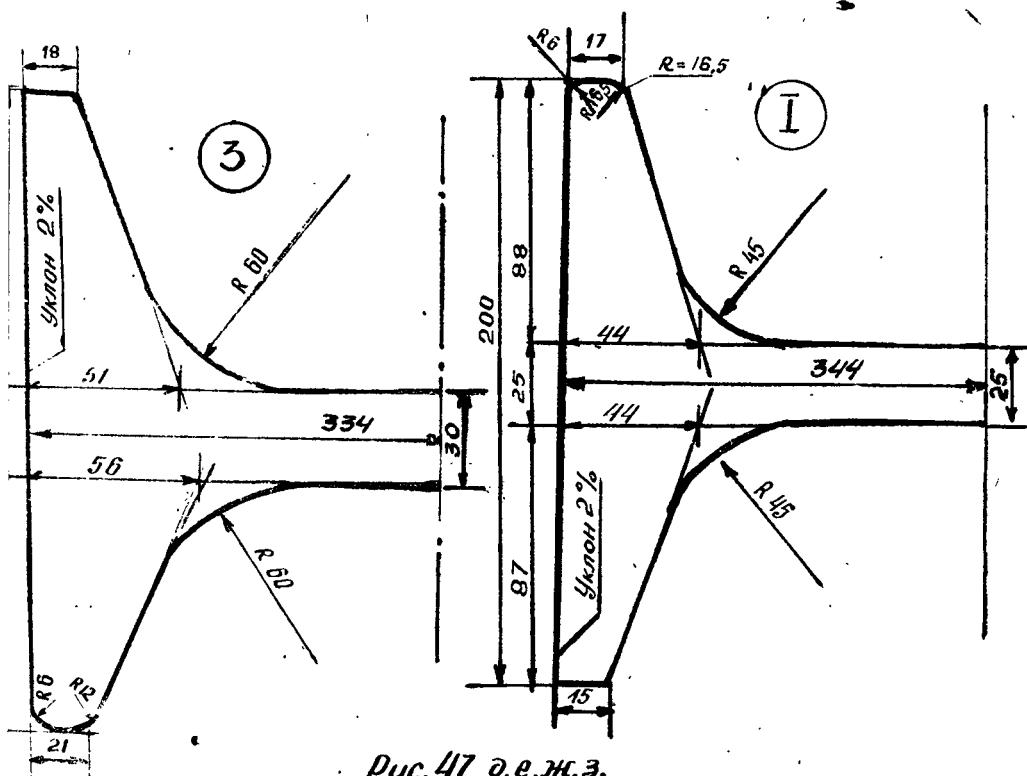
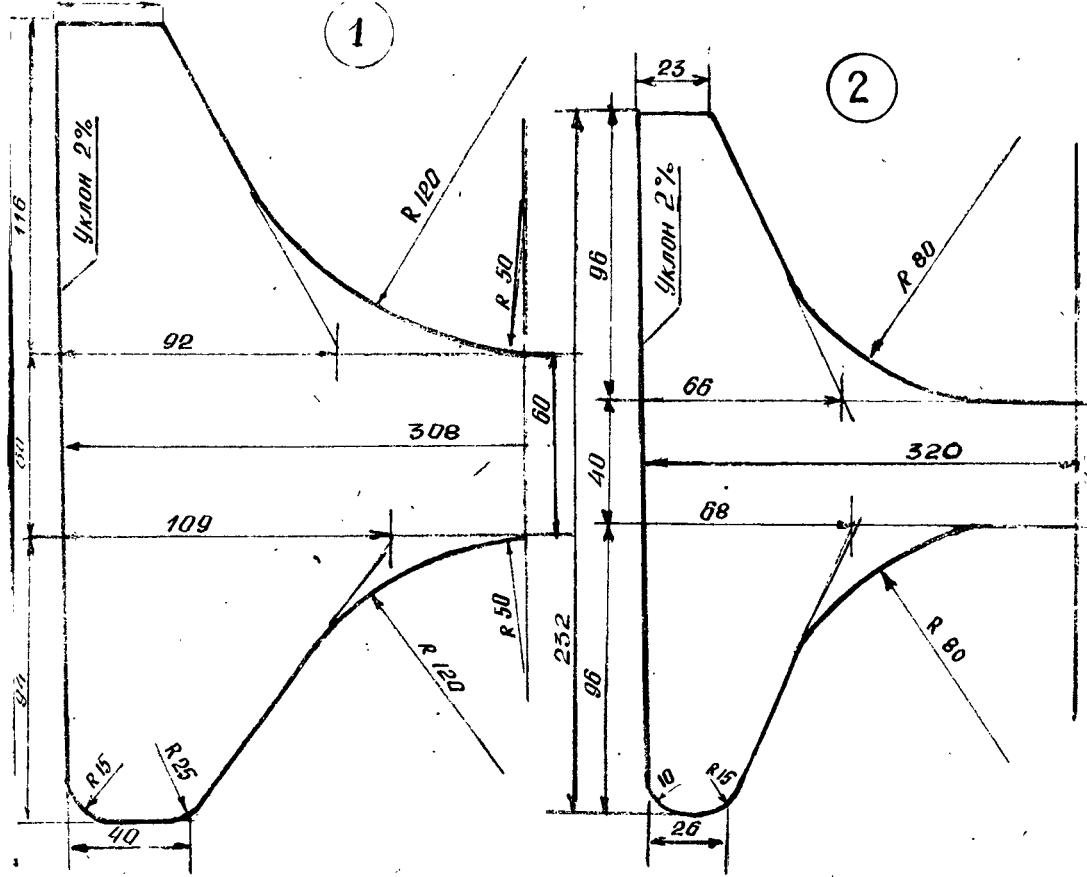


Рис. 47 д.в.м.з.

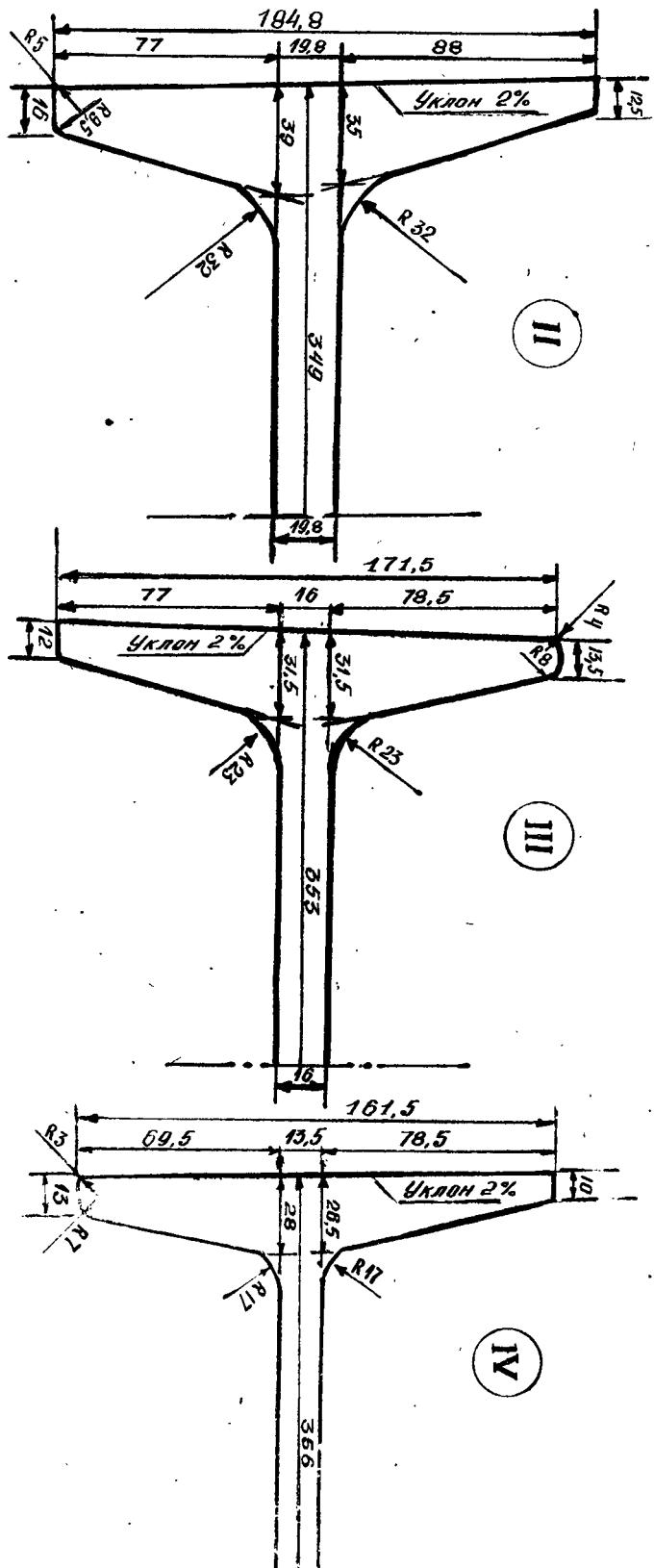
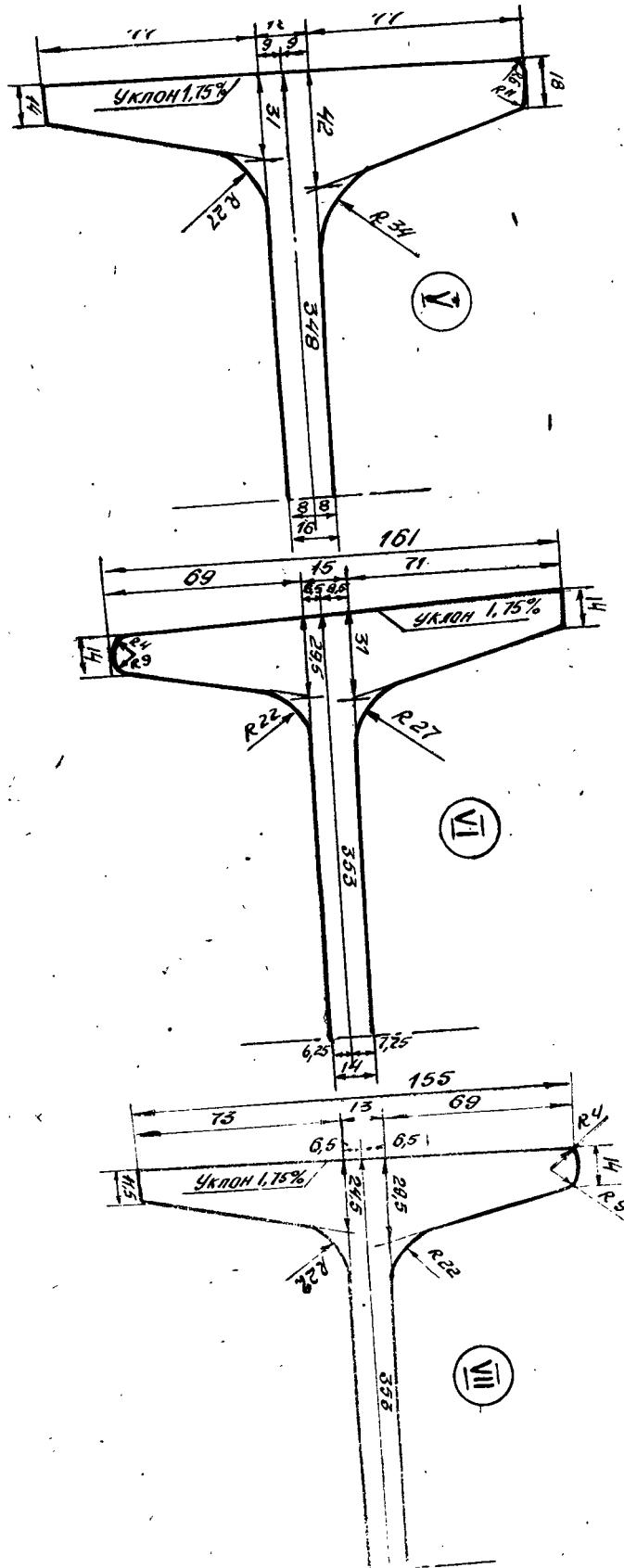


Рис. 47 и, к, п.

РУС 47 М.Н.О.



Средняя толщина закрытого фланца:

$$t_1' = \frac{4840}{73} = 66,2 \text{ мм}$$

Тангенс угла наклона внутренней стенки закрытого фланца

$$\operatorname{tg} \psi' = \frac{10,4 + 66,2}{176 - 0,573} = 0,550 .$$

Большое основание

$$b_1' = 176 \cdot 0,550 - 10,4 = 86,4 \text{ мм}$$

Малое основание:

$$b_2' = 2 \cdot 66,2 - 86,4 = 46,0 \text{ мм}$$

Точно так же определяются размеры остальных калибров.

Результаты расчета сводим в таблицу калибровки /табл.24/.

Р А З Д Е Л III

Лабораторные работы по курсу

"КАЛИБРОВКА ПРОКАТНЫХ ВАЛКОВ"

ПРОКАТКА КВАДРАТА

Работа проводится на лабораторном стане $D = 260$ мм.

Перед началом работы необходимо:

а/ Снять характеристику стана /мощность и число оборотов двигателя, тип шестеренной и рабочей клети; диаметры, длина бочки, материал и число оборотов валков, тип нажимного устройства и т.п./.

б/ Начертить монтажную схему калибровки /расчетная монтажная схема калибровки приведена на рис. 48 и 49/.

в/ Подготовить каждой бригаде по 5 стальных образцов сечением 35×35 мм, длиной 300 мм.

г/ Установить проводковую арматуру.

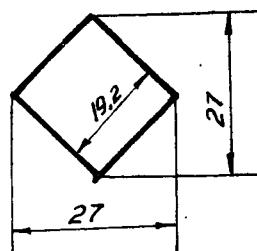
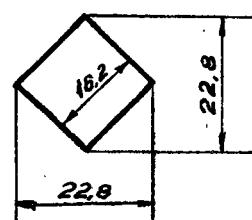
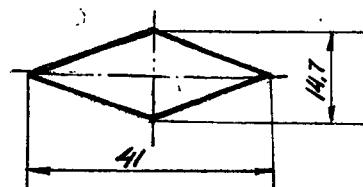
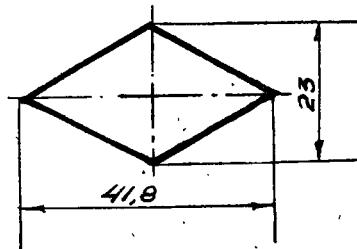
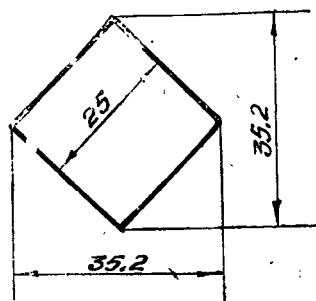
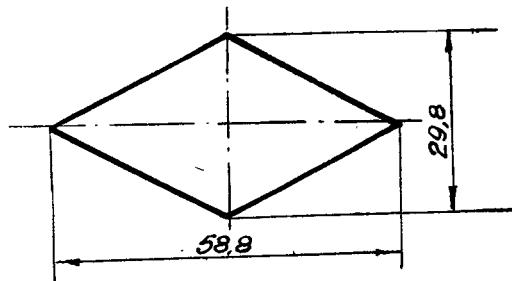
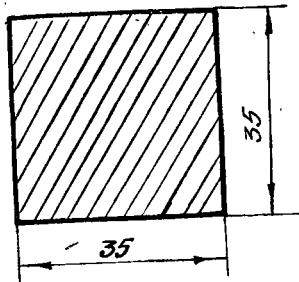


Рис. 49

Таблица 24.

Таблица калибровки двухтавровой балки № 30.

		Открытие щелины	Закрытие щелины
0	-	265	-
1	1,16	57100	260
2	1,35	43300	265,4
3	1,36	31800	271,2
4	1,36	223300	277,0
5	1,36	17300	282,6
6	1,32	13150	287,8
7	1,30	10100	293,7
8	1,27	7330	297,0
9	1,19	6000	300,1
10	1,18	5918	302,2

		Более открыто	Более закрыто
0	-	-	-
1	1,16	66200	250
2	1,35	57100	83,6
3	1,36	43300	62,8
4	1,36	31800	46,0
5	1,36	223300	351,0
6	1,32	17300	26,1
7	1,30	13150	19,0
8	1,27	10100	14,7
9	1,19	7330	11,6
10	1,18	6000	8,6

X. С учетом закругления средний

$$d = 150 \text{ мм.}$$

д) Настроить стан для прокатки квадрата 16 мм.

Перед прокаткой образцы нагреваются в нефтяной печи до температуры 1200° . Замеры температуры производятся при помощи оптического шиromетра.

После настройки валков и арматуры производят пробную прокатку. После каждого прохода необходимо измерять полученные размеры полосы при помощи шаблонов или штангенциркуля: Описать и дать объяснение отклонениям ожидаемого нормального сечения /заусенцы, незаполнение, перекос и т.п./. На основании анализа замеров раската произвести настройку стана, после чего прокатить второй образец. Эти операции повторять до тех пор, пока не будет получен необходимый профиль с учетом допуска по ОСТ"у / $+0.3 - 0.5$ мм/.

После получения нормального профиля составить таблицу практической калибровки. Для этого прокатать еще один образец, после каждого прохода отрезая темпилет.

Темплеты обработать. Контур темплетов начертить на миллиметровой бумаге. Определить площадь при помощи планиметра и путем подсчета квадратиков миллиметровки.

Замерить диаметры валков по дну калибров. По темплетам замерить полученные уширения Δb мм и обжатия Δh мм. Подсчитать фактические коэффициенты вытяжек μ и углы захвата. α

Полученные данные занести в таблицу 25.

ТАБЛИЦА КАЛИБРОВКИ КВАДРАТНОЙ СТАЛИ

Табл. 25

ИМЕНИЕ	Высота	Ширина	Сторона квадрата	Коэффициент вытяжки	Обхват	Уши	Угол	Катаю	Площадь
про-Форма	та	на	на	вытяжка	захват	зашивка	поперечный	диаметр	сечения
ко-калибра	Н	В	С	квадратики	тие	ние	вата	диаметр	сечения
цов:	мм	мм	мм	μ	Δh	Δb	α	Д	профиль
					мм	мм	°	мм	мм

Прокатка угловой стали 2.

Работа проводится на лабораторном стане $D = 260$ мм.

Перед началом работы необходимо:

а/ Начертить монтажную схему калибровки /расчетная калибровка приведена на рис.50 и 51.

б/ Подготовить каждой бригаде по 5 стальных образцов сечением 25×25 мм, длиной 300 мм.

в/ Установить проводковую арматуру и настроить стан для прокатки равнобокого уголка $20 \times 20 \times 4$ мм.

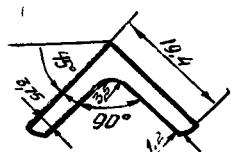
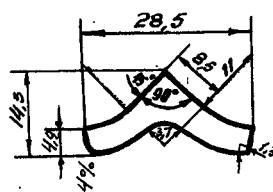
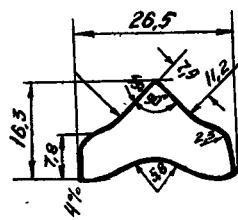
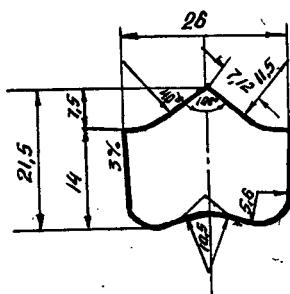
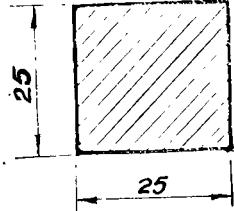
Заготовленные образцы нагреваются до температуры 1200° .

Проверка настройки стана производится путем прокатки пробного образца. Стан настраивается до пружинения нужного профиля с учетом допуска по ОСТ"у /по ширине полки $\pm 1,0$ мм; по толщине полки $+0,40 - 0,50$ мм/.

После окончательной настройки производится прокатка основных образцов. Для удобства замеров раскаты и вырезки темплетов после каждого прохода отбрасывают по одному раскату.. Такие, неполностью прокатанные, раскаты называются недокатами. После охлаждения и обмера полос из недокатов и готового профиля вырезаются темплеты. Темплеты необходимо обработать, а контуры их начертить на миллиметровой бумаге. Определить площадь поперечного сечения и подсчитать коэффициенты вытяжки. Сравнить коэффициенты вытяжки с коэффициентами уменьшения толщины полок.

Описать и объяснить отклонения ожидаемого нормального сечения профиля, имевшие место при настройке стана.

Составить таблицу практической калибровки /табл.26/.



РУС. 51

ТАБЛИЦА КАЛИБРОВКИ УГОЛКА

20 x 20 x 4 мм

Табл.26.

Коэффициент	Толщина	Обжатие	Ширина калибра	Площадь попечечного сечения	Коэффициент	Уши	Длина средней вытяжки в линии полосы	При Изог	Полная длина
предусмотренный	толщины	на ти	калибра	попечечного сечения	аб	мм	мм	мой	нутый участок
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
4	4	4	4	4	4	4	4	4	4

ПРОКАТКА ТАВРИКА

Работа проводится на лабораторном стане $D = 210$ мм.

Перед началом работы необходимо:

- а/ Снять характеристику стана;
- б/ Начертить эскиз валков /монтажный чертеж/ ;
- в/ Подготовить каждой бригаде по 5 стальных образцов сечения 16 x 16 мм, длиной 250 мм.
- г/ Установить проводковую арматуру.
- д/ Настроить стан таким образом, чтобы размеры готового профиля таврика 14,5 x 14,5 x 2,5 мм не выходили из допуска $\pm 0,2$ мм /расчетная схема калибровки приведена на рис.52/.

Перед прокаткой образцы нагреваются в электрической или нефтяной печи до температуры 1200° . Замеры температуры производятся при помощи потенциометра или оптического пирометра.

Прокатывают пять заготовок. Для исследования заполнения металлом калибров по элементам сечения, при прокатке таврика и после каждого прохода отбрасывают по одному раскату. После охлаждения и обмера полос из недокатов и готового профиля нырезаются темплеты. После обработки темплетов,

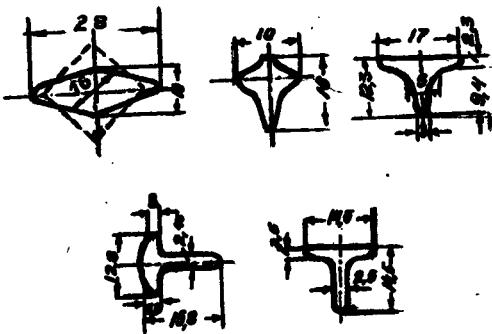


Рис. 52

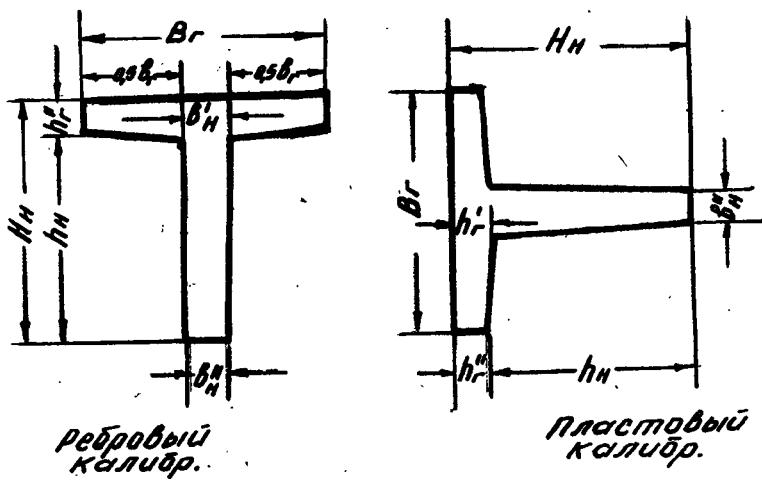


Рис. 53

контуры их обводятся на миллиметровке. Деление сечения профиля на элементы и обозначение размеров указано на рис.53.

Результаты прокатки после замеров темплетов заносят в табл. №7 и по ней делают выводы об утяжке, удлинении и уширении элементов профиля в различных калибрах.

ПРОКАТКА ДВУТАВРОВОЙ БАЛКИ

Работа проводится на лабораторном стане $D = 330$ мм.
Перед началом работы необходимо:

а/ Снять характеристику стана /тип, мощность и число оборотов двигателя, тип шестеренной и рабочих клетей; диаметры, длина бочки, материал и число оборотов валков; тип нажимного и уравновешивающего устройства и т.п./

б/ Начертить эскиз валков /расчетные монтажный чертеж и шаблоны приведены на рис.54 и 55/.

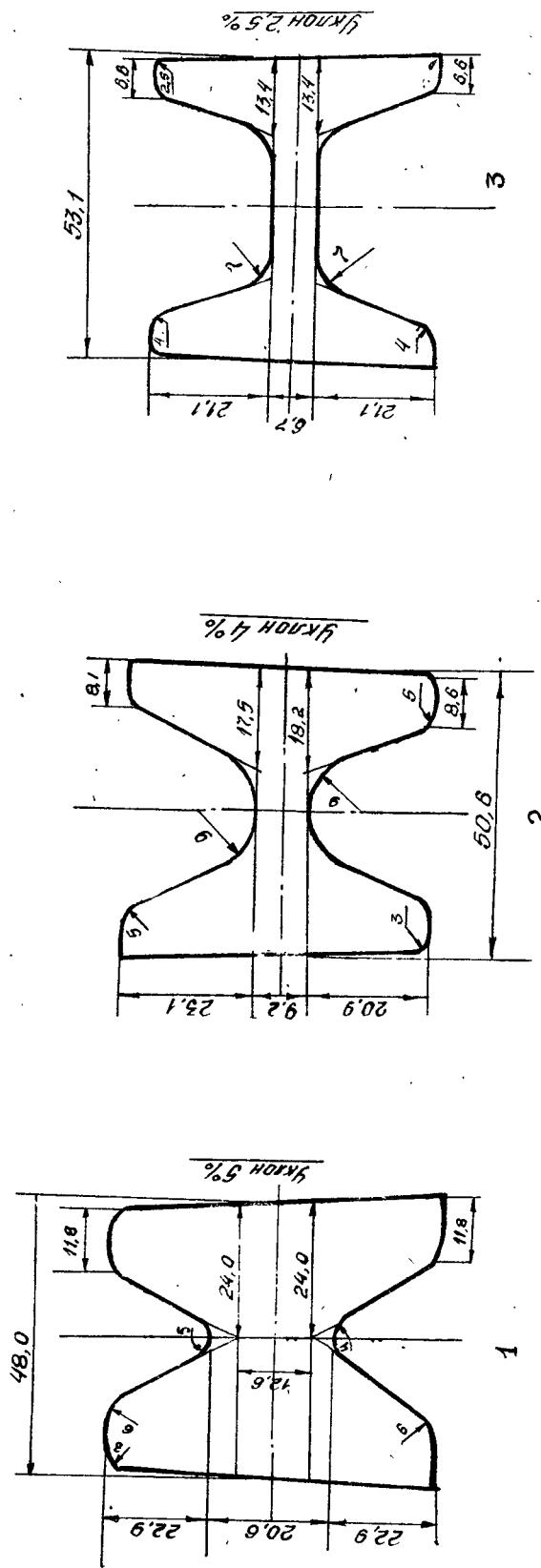
в/ Подготовить каждой бригаде по 8 стальных /свинцовых/ образцов сечением 50 x 70 мм, длиной 500 мм.

г/ Установить проводковую арматуру и настроить стан для прокатки двутавровой балки № 6 / балка № 12 в масштабе 1:2/.

При прокатке стальных образцов, последние нагреваются в нефтяной нагревательной печи до температуры 1200°.

Настройка стана, пробная прокатка, прокатка основных образцов, отбор, обмер и анализ темплетов производится в той же последовательности и теми же методами, что и в предыдущих работах. Особое внимание обратить на изучение утяжки металла в закрытых и удлинения в открытых фланцах. Подсчитать коэффициенты утяжки по элементам и по калибру.

Результаты замеров прокатанных полос и темплетов занести в таблицу анализа прокатки двутавровой балки /табл. №8/.



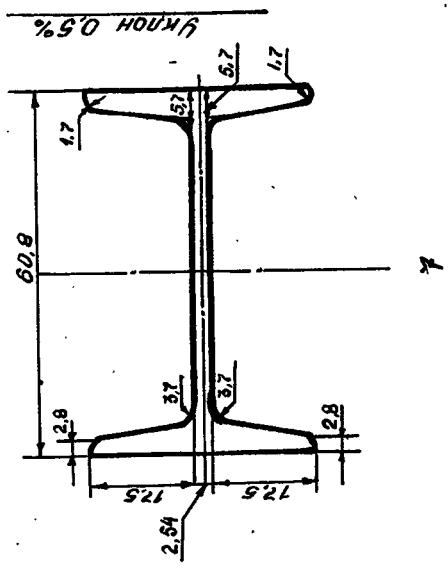
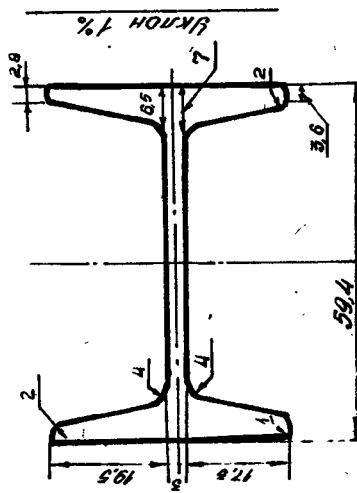


Рис. 54 / 6-7 камеры/



6

Таблица 27.

Анализ прокатки таррика 14,5 x 14,5 x 2,5 мм

TOTO BIR

NO.

៤២០

۲۰

4

ГЛАВА

БДРОВОЙ

Таблица 28

Анализ проектки двухзваровой балки

№е номокодов	Номинальные размеры	Площади поперечного сечения	Коэффициенты вытяжки	Материалы	Методы расчета
0	100x100	100 mm ²	1	сталь	М ²
1	100x100	100 mm ²	1	сталь	М ²
2	100x100	100 mm ²	1	сталь	М ²
3	100x100	100 mm ²	1	сталь	М ²
4	100x100	100 mm ²	1	сталь	М ²
5	100x100	100 mm ²	1	сталь	М ²
6	100x100	100 mm ²	1	сталь	М ²
7	100x100	100 mm ²	1	сталь	М ²
8	100x100	100 mm ²	1	сталь	М ²
9	100x100	100 mm ²	1	сталь	М ²

Приложения:

ТАБЛИЦА СИНУСОВ

Минуты Градусы:	0	10	20	30	40	50
0	0,00000	0,00291	0,00582	0,00873	0,01144	0,01454
1	0,01745	0,02036	0,02327	0,02618	0,02908	0,03199
2	0,03490	0,03781	0,04071	0,04362	0,04653	0,04943
3	0,05234	0,05524	0,05814	0,06105	0,06395	0,06685
4	0,06976	0,07266	0,07556	0,07846	0,08136	0,08426
5	0,08716	0,09005	0,09295	0,09585	0,09874	0,10164
6	0,10453	0,10742	0,11031	0,11320	0,11609	0,11898
7	0,12187	0,12476	0,12764	0,13053	0,13341	0,13629
8	0,13917	0,14206	0,14493	0,14781	0,15069	0,15356
9	0,15643	0,15931	0,16218	0,16505	0,16792	0,17078
10	0,17365	0,17651	0,17937	0,18224	0,18509	0,18795
11	0,19081	0,19366	0,19652	0,19937	0,20222	0,20507
12	0,20791	0,21076	0,21360	0,21644	0,21928	0,22212
13	0,22495	0,22778	0,23062	0,23345	0,23627	0,23910
14	0,24192	0,24474	0,24756	0,25038	0,25320	0,25601
15	0,25882	0,26163	0,26443	0,26724	0,27004	0,27284
16	0,27564	0,27843	0,28123	0,28402	0,28680	0,28959
17	0,29237	0,29515	0,29793	0,30071	0,30348	0,30625
18	0,30902	0,31178	0,31454	0,31730	0,32006	0,32282
19	0,32557	0,32832	0,33106	0,33381	0,33655	0,33929
20	0,34202	0,34475	0,34748	0,35021	0,35293	0,35565
21	0,35837	0,36108	0,36379	0,36650	0,36921	0,37191
22	0,37461	0,37730	0,37999	0,38268	0,38537	0,38805
23	0,39037	0,39341	0,39608	0,39875	0,40141	0,40408
24	0,40674	0,40939	0,41204	0,41469	0,41734	0,41998
25	0,42262	0,42525	0,42788	0,43051	0,43313	0,43575
26	0,43837	0,44098	0,44359	0,44620	0,44880	0,45140
27	0,45399	0,45658	0,45917	0,46175	0,46433	0,46690
28	0,46947	0,47204	0,47460	0,47716	0,47971	0,48226
29	0,48481	0,48735	0,48989	0,49242	0,49495	0,49748
30	0,50000	0,50252	0,50503	0,50754	0,51004	0,51254
31	0,51504	0,51753	0,52002	0,52250	0,52498	0,52745
32	0,52992	0,53238	0,53484	0,53730	0,53975	0,54220
33	0,54464	0,54708	0,54951	0,55194	0,55436	0,55678
34	0,55919	0,56160	0,56401	0,56641	0,56880	0,57119
35	0,57358	0,57596	0,57833	0,58070	0,58307	0,58543

2. ТАБЛИЦА КОСИНУСОВ.

МИНУТЫ: Градусы:	0	10	20	30	40	50
0	1,00000	1,00000	0,99998	0,99996	0,99993	0,99999
1	0,99985	0,99979	0,99973	0,99966	0,99958	0,99949
2	0,99939	0,99929	0,99917	0,99905	0,99892	0,99878
3	0,99863	0,99847	0,99831	0,99813	0,99795	0,99776
4	0,99756	0,99736	0,99714	0,99692	0,99668	0,99644
5	0,99619	0,99594	0,99567	0,99540	0,99511	0,99482
6	0,99452	0,99421	0,99390	0,99357	0,99324	0,99290
7	0,99255	0,99219	0,99182	0,99144	0,99106	0,99067
8	0,99027	0,98986	0,98944	0,98902	0,98858	0,98814
9	0,98769	0,98723	0,98676	0,98629	0,98580	0,98531
10	0,98481	0,98430	0,98378	0,98325	0,98272	0,98218
11	0,98168	0,98107	0,98050	0,97992	0,97934	0,97875
12	0,97815	0,97754	0,97692	0,97630	0,97566	0,97502
13	0,97437	0,97371	0,97304	0,97237	0,97169	0,97100
14	0,97030	0,96959	0,96887	0,96815	0,96742	0,96667
15	0,96593	0,96517	0,96440	0,96363	0,96285	0,96206
16	0,96126	0,96046	0,95964	0,95882	0,95799	0,95715
17	0,95630	0,95545	0,95459	0,95372	0,95284	0,95195
18	0,95105	0,95015	0,94924	0,94832	0,94740	0,94646
19	0,94552	0,94457	0,94361	0,94264	0,94167	0,94068
20	0,93969	0,93869	0,93768	0,93667	0,93565	0,93462
21	0,93358	0,93253	0,93148	0,93042	0,92935	0,92827
22	0,92718	0,92609	0,92499	0,92388	0,92276	0,92164
23	0,92050	0,91936	0,91822	0,91706	0,91590	0,91472
24	0,91355	0,91236	0,91116	0,90996	0,90875	0,90758
25	0,90631	0,90507	0,90383	0,90259	0,90133	0,90007
26	0,89879	0,89752	0,89623	0,89493	0,89363	0,89232
27	0,89101	0,88968	0,88835	0,88701	0,88566	0,88431
28	0,88295	0,88158	0,88020	0,87882	0,87743	0,87603
29	0,87462	0,87321	0,87178	0,87036	0,86892	0,86748
30	0,86603	0,86457	0,86310	0,86163	0,86015	0,85866
31	0,85717	0,85567	0,85416	0,85264	0,85112	0,84959
32	0,84805	0,84650	0,84495	0,84339	0,84182	0,84025
33	0,83867	0,83708	0,83549	0,83389	0,83228	0,83066
34	0,82904	0,82741	0,82577	0,82413	0,82248	0,82082
35	0,81915	0,81748	0,81580	0,81412	0,81242	0,81072

3. ТАБЛИЦА ТАНГЕНСОВ

Минуты:	0	10	20	30	40	50
Градусы:						
0	0,00000	0,00291	0,00582	0,00873	0,01164	0,01455
1	0,01746	0,02036	0,02328	0,02619	0,02910	0,03201
2	0,03492	0,03783	0,04075	0,04366	0,04658	0,04949
3	0,05241	0,05533	0,05824	0,06116	0,06408	0,06700
4	0,06993	0,07285	0,07578	0,07870	0,08163	0,08456
5	0,08749	0,09042	0,09335	0,09629	0,09923	0,10216
6	0,10510	0,10805	0,11099	0,11394	0,11688	0,11983
7	0,12278	0,12574	0,12869	0,13165	0,13461	0,13758
8	0,14054	0,14351	0,14648	0,14945	0,15243	0,15540
9	0,15838	0,16137	0,16435	0,16734	0,17033	0,17333
10	0,17633	0,17933	0,18233	0,18534	0,18835	0,19136
11	0,19438	0,19740	0,20042	0,20345	0,20648	0,20952
12	0,21256	0,21560	0,21864	0,22169	0,22475	0,22781
13	0,23087	0,23393	0,23700	0,24008	0,24316	0,24624
14	0,24933	0,25242	0,25552	0,25862	0,26172	0,26483
15	0,26795	0,27107	0,27419	0,27732	0,28046	0,28360
16	0,28675	0,28990	0,29305	0,29621	0,29938	0,30255
17	0,30573	0,30891	0,31210	0,31530	0,31850	0,32171
18	0,32492	0,32814	0,33136	0,33460	0,33783	0,34108
19	0,34433	0,34753	0,35085	0,35412	0,35740	0,36068
20	0,36397	0,36727	0,37057	0,37389	0,37720	0,38053
21	0,38386	0,38721	0,39055	0,39391	0,39727	0,40065
22	0,40403	0,40741	0,41081	0,41421	0,41763	0,42105
23	0,42447	0,42791	0,43136	0,43481	0,43828	0,44175
24	0,44523	0,44872	0,45222	0,45573	0,45924	0,46277
25	0,46631	0,46985	0,47341	0,47698	0,48055	0,48414
26	0,48773	0,49134	0,49495	0,49858	0,50222	0,50587
27	0,50953	0,51319	0,51688	0,52057	0,52427	0,52798
28	0,53171	0,53545	0,53920	0,54296	0,54673	0,55051
29	0,55431	0,55812	0,56194	0,56577	0,56962	0,57348
30	0,57735	0,58124	0,58513	0,58905	0,59297	0,59691
31	0,60086	0,60483	0,60881	0,61280	0,61881	0,62083
32	0,62487	0,62892	0,63299	0,63707	0,64117	0,64528
33	0,64941	0,65355	0,65771	0,66189	0,66608	0,67028
34	0,67451	0,67875	0,68301	0,68728	0,69157	0,69588
35	0,70021	0,70455	0,70891	0,71329	0,71769	0,72211

4. ПЕРЕВОД ГРАДУСОВ В РАДИАНЫ
/длина дуги при радиусе $R = 1$ /

Центр: угол: в сек:	Центр: угол: в мин:	Центр: угол: в град:	Центр: угол: в град:	Центр: угол: в гр.:	Длина дуги
10	0,00005	1	0,00029	1°	0,01745
20	0,00010	2	0,00058	2	0,03491
30	0,00015	3	0,00087	3	0,05236
40	0,00020	4	0,00116	4	0,06981
50	0,00024	5	0,00145	5	0,08727
		6	0,00175	6	0,10472
		7	0,00204	7	0,12217
		8	0,00233	8	0,13963
		9	0,00262	9	0,15708
		10	0,00291	10	0,17453
		20	0,00582	11	0,19199
		30	0,00873	12	0,20944
		40	0,01164	13	0,22689
		50	0,01454	14	0,24435
				15	0,26180
				16	0,27925
				17	0,29671
				32	0,55850
				33	0,57596
				34	0,59341
				35	0,61087

При данном радиусе R и центральном
угле φ в градусах длина дуги \widehat{AB}
равна

$$\widehat{AB} = \pi R \frac{\varphi}{180} = 0,01745 R \varphi.$$