

Д. И. Старченко

РАЗВЕРНУТАЯ
КАЛИБРОВКА
ФАСОННЫХ
ПРОФИЛЕЙ



Металлургиздат

1952

Д. И. СТАРЧЕНКО

Канд. техн. наук

РАЗВЕРНУТАЯ КАЛИБРОВКА ФАСОННЫХ ПРОФИЛЕЙ



ГОСУДАРСТВЕННОЕ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
ЛИТЕРАТУРЫ ПО ЧЕРНОЙ И ЦВЕТНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ

Москва 1952

АННОТАЦИЯ

В книге излагается методика калибровки массовых фасонных профилей с использованием развернутых калибров в качестве подготовительных. По каждому типовому профилю приводятся расчеты калибровочных данных, иллюстрирующие практическое применение изложенных основ развернутой калибровки валков.

Книга рассчитана на заводских калибровщиков, инженеров-прокатчиков и может быть полезна студентам старших курсов по прокатной специальности.

Редактор *Н. П. Громов* Технический редактор *В. В. Михайлова*

Сдано в производство 30/X 1951 г. Подписано к печати 29/II 1952 г.

Бумага $60 \times 92\frac{1}{16} = 7,75$ бум. лист. — 15,50 п. л.

Уч. изд. л. 16,10 Заказ 1030 Зн. в 1 печ. л. 41 580
Т-02324 Тираж 3000 Цена 9 руб.

Типография Металлургиздата, Москва, Цветной бульвар, д. 30

цена по прейскуранту 1952 г.

ОГЛАВЛЕНИЕ

	Стр.
Введение	7

Глава первая

Общие основы развернутой калибровки фасонных профилей

1. Выбор коэффициентов обжатия	15
2. Связь коэффициентов обжатия с крутящим моментом прокатки....	17
3. Проверка валков на прочность	22
4. Аналитическое определение контактной поверхности металла с валками при прокатке	28
5. Количество фасонных калибров и углы закрытия полок	37
6. Аналитическое определение нейтральной линии фасонных калибров	43

Глава вторая

КАЛИБРОВКА РАВНОБОКИХ УГОЛЬНИКОВ

I. Определение размеров и построение равнобоких угловых калибров

7. Чистовой равнобокий угловой калибр и задаваемое в него сечение	49
8. Развернутые равнобокие угловые калибры	53
9. Форма и размеры заготовки при прокатке равнобоких угольников	58

II. Монтаж равнобоких угловых калибров в валках

10. Нейтральная линия равнобоких угловых калибров	61
11. Катающие диаметры валков по калибрам	63
12. Захват металла валками	64

III. Калибровка равнобокого угольника № 22

13. Характеристика стана и другие предварительные данные	65
14. Расчет калибровочных данных	67
15. Определение размеров заготовки	79
16. Проверка условий захвата металла валками	79
17. Проверка прочности валков	79

IV. Опытная прокатка равнобокого угольника № 6, 5

18. Характеристика прокатного стана	88
19. Методика и результаты исследования	88

Глава третья

КАЛИБРОВКА НЕРАВНОБОКИХ УГОЛЬНИКОВ

I. Определение основных размеров и построение неравнобоких угловых калибров

20. Чистовой неравнобокий угловой калибр и задаваемое в него сечение	96
21. Развернутые неравнобокие угловые калибры	100
22. Размеры заготовки	103

II. Монтаж неравнобоких угловых калибров в валках

23. Нейтральная линия неравнобоких угловых калибров	104
24. Катающие диаметры валков по ручьям неравнобоких угловых калибров	106
25. Захват металла валками	107

III. Калибровка неравнобокого угольника № 9/6

26. Характеристика прокатного стана	107
27. Расчет калибровочных данных	108
28. Определение размеров заготовки	120
29. Проверка условий захвата металла валками	120
30. Проверка прочности валков	121

Глава четвертая

КАЛИБРОВКА ПРАВИЛЬНЫХ ЗЕТОВЫХ ПРОФИЛЕЙ

I. Определение основных размеров и построение правильных зетовых калибров

31. Чистовой калибр и задаваемое в него сечение	129
32. Общее число зетовых калибров	133
33. Развернутые правильные зетовые калибры	134
34. Размеры заготовки	136

II. Монтаж правильных зетовых калибров в валках

35. Нейтральная линия правильных зетовых калибров	136
36. Катающие диаметры валков по ручьям правильных зетовых калибров	137
37. Захват металла валками	139

III. Калибровка зета № 6

38. Расчет калибровочных данных	140
39. Определение размеров заготовки	154
40. Проверка условий захвата металла валками	154
41. Проверка прочности валков	154
42. Опытная прокатка зета № 6	163

Глава пятая

КАЛИБРОВКА НЕПРАВИЛЬНЫХ ЗЕТОВЫХ И ЗЕТООБРАЗНЫХ ПРОФИЛЕЙ

I. Определение размеров и построение неправильных зетовых калибров

43. Выбор коэффициентов обжатия по элементам профиля	165
44. Чистовой калибр и задаваемое в него сечение	166
45. Общее число неправильных зетовых и зетообразных калибров	169
46. Развернутые неправильные зетовые калибры	169
47. Размеры заготовки	173

II. Монтаж калибров в валках

48. Нейтральная линия неправильных зетовых калибров	174
49. Катающие диаметры валков по ручьям неправильных зетовых калибров	177
50. Захват металла валками	180

III. Калибровка неправильного зета

51. Расчет основных калибровочных данных	181
52. Определение размеров заготовки	195
53. Проверка условий захвата металла валками	195
54. Проверка прочности валков	196

Глава шестая

РАЗВЕРНУТАЯ КАЛИБРОВКА ШВЕЛЛЕРОВ

I. Общие соображения

55. Сущность вопроса	203
56. Последовательность форм калибров при развернутой калибровке швеллеров	204
57. Общее число швеллерных калибров	205

II. Определение основных размеров и построение швеллерных калибров

58. Основные размеры заданного к получению швеллерного профиля	205
59. Чистовой прямой швеллерный калибр и задаваемый в него раскат	206
60. Предчистой полуразвернутый швеллерный калибр и задаваемое в него сечение	208
61. Первый по ходу расчета развернутый швеллерный калибр	210
62. Развернутые подготовительные швеллерные калибры	213
63. Размеры заготовки	216
64. Заполнение развернутых швеллерных калибров металлом	216
65. Построение швеллерных калибров	216

III. Монтаж швеллерных калибров в валках

66. Нейтральная линия швеллерных калибров	218
67. Катающие диаметры валков по ручьям швеллерных калибров	221
68. Захват металла валками	222

	Стр.
IV. Калибровка швеллера № 12	
69. Размеры заданного к получению швеллерного профиля	223
70. Чистойой прямой швеллерный калибр и задаваемый в него раскат	224
71. Предчистойой полуразвернутый швеллерный калибр и задаваемое в него сечение	225
72. Первый по ходу расчета подготовительный развернутый швеллер- ный калибр	226
73. Расчет всех других подготовительных развернутых швеллерных калибров	227
74. Определение размеров заготовки	230
75. Проверка заполнения калибров металлом	231
76. Нейтральная линия швеллерных калибров	233
77. Катающие диаметры валков по ручьям швеллерных калибров....	234
78. Проверка условий захвата металла валками	235
79. Проверка прочности валков	237
Л и т е р а т у р а	248

ВВЕДЕНИЕ

В науке о прокатке металлов, получившей за последнее время заметное развитие, благодаря, главным образом, работам советских ученых, раздел калибровки прокатных валков и, особенно, валков для прокатки фасонных профилей все еще остается наименее теоретически и экспериментально разработанным.

За последнее десятилетие в нашей стране появилось свыше двух десятков книг и большое количество статей по вопросам теории продольной, косо́й и поперечной прокатки, технологии прокатного производства, оборудования и механизации прокатных цехов. Можно назвать такие капитальные труды, как «Теория обработки металлов давлением» С. И. Губкина (1947 г.), «Прокатные станы» и «Механизмы прокатных станов» А. И. Целикова (1946 г.), «Процесс ленточной и тонколистовой прокатки» А. Я. Хейна (1941 г.), «Теория косо́й и пилигримовой прокатки» П. Т. Емельяненко (1949 г.), «Теория прокатки» Иг. М. Павлова (1950 г.).

Между тем по калибровке валков были изданы только две книги и то лишь в 1950 г. «Калибровка балок и швеллеров» Б. П. Бахтинова и М. М. Штернова и «Калибровка прокатных валков» А. П. Виноградова и Г. А. Виноградова.

Небезинтересно отметить, что за это время не появилось ни одного капитального иностранного труда по вопросам прокатки и калибровки валков.

Несколько лучше обстоит дело с освещением теории и практики калибровки как в советской, так и в зарубежной научно-технической периодической печати. Однако отдельные статьи носят чаще всего описательный характер или решают тот или иной частный вопрос и не дают общего комплексного решения хотя бы применительно к калибровке определенных видов профилей, не рассматривают проблему в целом. Тем не менее существуют такие группы профилей, для которых могут быть

сохранены единые принципы и рациональная методика калибровки. Одну из таких групп массовых фасонных профилей составляют равнобокие и неравнобокие угольники, правильные и неправильные зеты, швеллеры, а также зетообразные и корытные шпунты, калибровка которых может быть выполнена по так называемому развернутому принципу.

В развернутой калибровке фасонных профилей сохраняется общим решение таких вопросов, как выбор коэффициентов обжатия по калибрам с учетом мощности моторов привода стана, определение углов закрытых полок, характер образования полок и построение подготовительных и предчистовых калибров, определение основных параметров калибров, монтаж калибров в валках, проверка условий захвата металла валками и проверка прочности валков. Эта общность вопросов развернутой калибровки в целом еще никем не рассматривалась, хотя отдельные ее вопросы, особенно применительно к равнобоким угольникам, разрабатывались рядом отечественных и зарубежных авторов¹.

К одной из первых советских работ по калибровке угольников относится работа Иг. М. Павлова [13], в которой справедливо критикуется принцип определения углов закрытия полок по угловым калибрам без учета связи ширины полок с их уширением — по Жезу.

Однако авторы, рассматривают образование полок только за счет простого желобчатого изгиба заготовки в первом угловом калибре или углового раската во всех других калибрах. В действительности, как показывают лабораторные и заводские исследования деформации плашмя задаваемой заготовки в угловом калибре, подтверждаемые повседневной практикой, образование полок идет не только за счет желобчатого изгиба заготовки, но главным образом за счет открытой или полуоткрытой осадки. При этом из соотношения изгибающих моментов от внешних и внутренних сил в опасном сечении легко установить, что в первых по ходу прокатки одном-двух угловых калибрах, пока толщина заготовки или раската велика сравнительно с шириной, образование полок идет исключительно за счет осадки, в после-

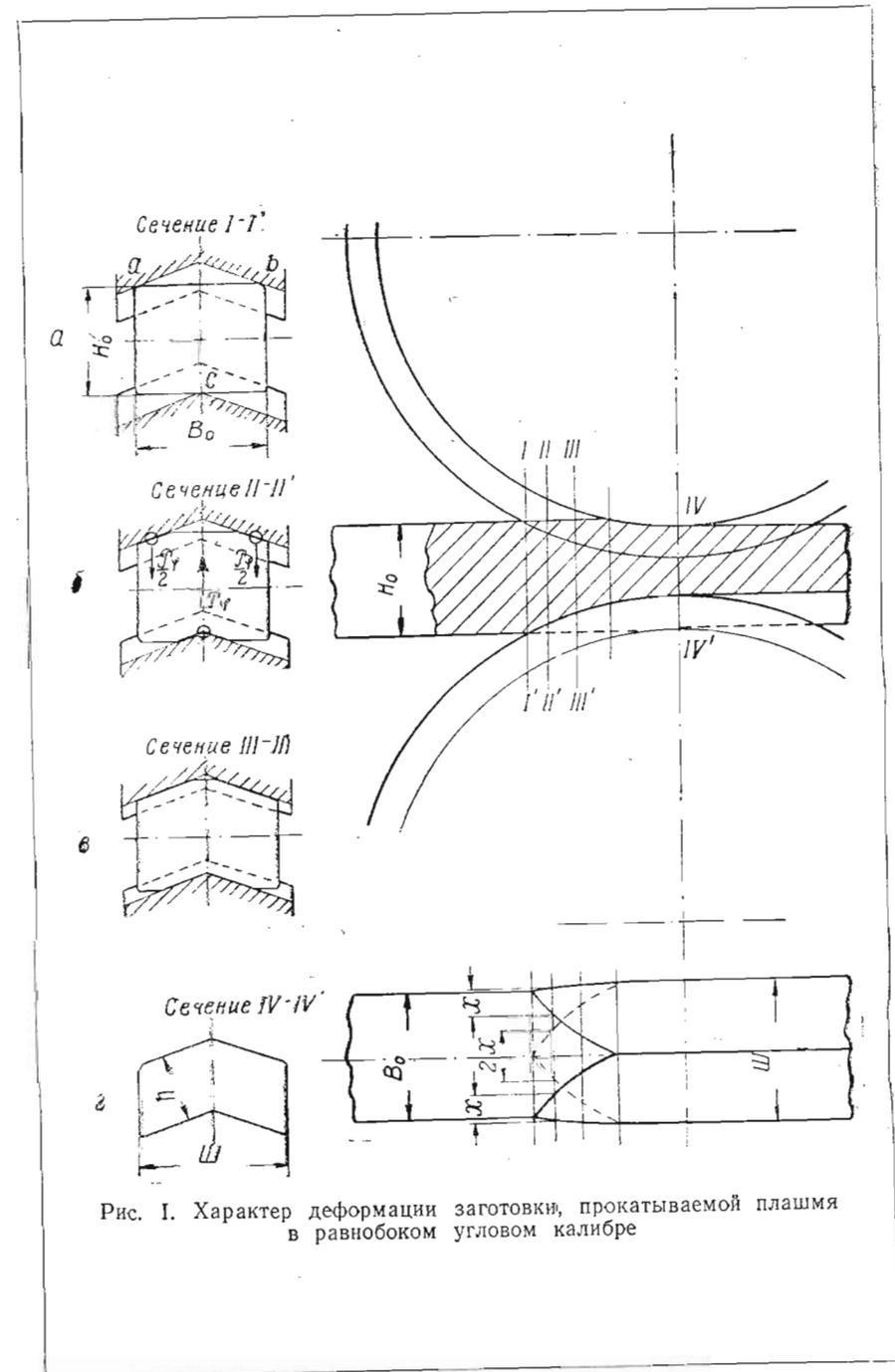


Рис. 1. Характер деформации заготовки, прокатываемой плашмя в равнобоком угловом калибре

¹ Иг. М. Павловым, А. П. Виноградовым, М. В. Врацким, А. П. Чекаревым, Б. П. Бахтиновым, Л. Жезом, Н. Мецем, Лендлем и др.

дующих калибрах — за счет осадки с изгибом; чистого желобчатого изгиба никогда не наблюдается.

В самом деле, прямоугольная заготовка, задаваемая в угловой калибр (рис. I, а), первоначально соприкасается с верхним валком по боковым граням в точках *a* и *b* и с нижним валком по середине калибра в точке *c*. По мере продвижения заготовки между валками выступ нижнего валка врезается в тело заготовки, а края заготовки сминаются верхним валком (рис. I, б). Благодаря этому создаются условия для желобчатого изгиба заготовки, при этом в среднем вертикальном сечении заготовки возникают напряжения, уравнивающие изгибающий момент от внешних сил (рис. II, сечение II—II по рис. I).

Ради упрощения анализа, пренебрегая связями переднего и заднего конца заготовки вне зоны изгиба, изгибающий момент от внешних сил в первом приближении можем представить для элемента заготовки, протяженностью равной единице, как для балки на двух опорах (рис. II):

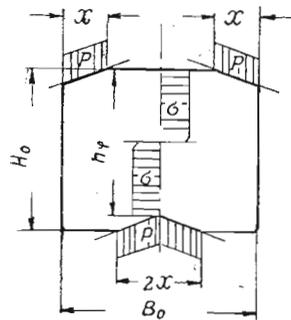


Рис. II. К анализу пластической деформации заготовки в равнобоком угловом калибре

элементу заготовки, протяженностью равной единице, как для балки на двух опорах (рис. II):

$$M_{из} = \frac{px}{2} (B_0 - 2x).$$

Изгибающий момент от внешних сил уравнивается моментом внутренних сил:

$$M = 2 \int_0^{\frac{h_\varphi}{2}} \sigma h_x dh.$$

Так как

$$h_\varphi = h + 2D \sin^2 \frac{\varphi}{2} \approx H_0,$$

то в опасном сечении при условии пластического изгиба, когда $\sigma \approx \text{const}$, будем иметь:

$$M = \frac{\sigma H_0^2}{4}.$$

Желобчатый изгиб заготовки в угловом калибре возможен при условии равенства

$$M_{из} = M$$

или при условии, что

$$\frac{px}{2} (B_0 - 2x) = \frac{\sigma H_0^2}{4}.$$

После элементарных преобразований получим:

$$\left(\frac{x}{B_0}\right)^2 - \frac{x}{2B_0} + \frac{\sigma}{4p} \left(\frac{H_0}{B_0}\right)^2 = 0.$$

Обозначая через

$$Z_{тз} = \frac{H_0}{B_0}$$

коэффициент толщины заготовки и через

$$Y_{пп} = \frac{2x}{B_0}$$

коэффициент поперечной протяженности контактной поверхности металла с валками и полагая, что

$$\frac{\sigma}{p} \approx 1,$$

получим уравнение окружности

$$Z_{тз}^2 + Y_{пп}^2 - Y_{пп} = 0$$

вида

$$Z_{тз}^2 + (R - Y_{пп})^2 = R^2$$

с радиусом $R = \frac{1}{2}$, симметричной относительно оси абсцисс и касающейся вертикальной координатной оси в начале координат.

Диаграмму зависимости коэффициента толщины заготовки от коэффициента поперечной протяженности контактной поверхности (рис. III) как функцию

$$Z_{тз} = \sqrt{Y_{пп} (1 - Y_{пп})}$$

можно назвать диаграммой, состояния пластической деформации плашмя задаваемой заготовки в равнобокий угловой калибр. Область диаграммы, заключенная между осью абсцисс и полуокружностью, отвечает состоянию деформации заготовки гибкой. Область диаграммы, заключенная между полуокружностью и осью ординат, отвечает состоянию деформации заготовки осадкой (штамповкой).

Как видно, при $Z_{T3} > \frac{1}{2}$ заготовка, прокатываемая в угловом калибре, деформируется только за счет осадки. При $0 < Z_{T3} < \frac{1}{2}$ с момента контакта металла с валками и далее на участке ab деформация заготовки осуществляется путем осадки. Затем по мере продвижения металла в очаге деформации на участке bc

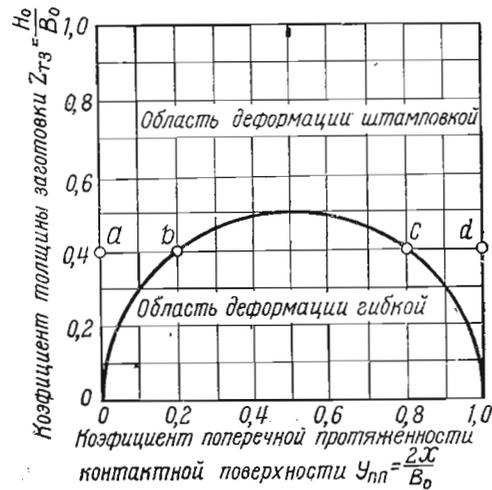


Рис. III. Диаграмма состояния пластической деформации заготовки в равнобоком угловом калибре

имеет место деформация гибки, при этом продолжает увеличиваться поперечная протяженность контактной поверхности, благодаря чему затрудняется и, наконец, полностью блокируется деформация гибки и снова наступает период деформации осадкой на участке cd ; наступает собственно период прокатки заготовки до выхода металла из валков.

Приведенный анализ полностью подтверждается опытной прокаткой свинцовых плоскодвуслойных и ребристомногослойных образцов. В первом случае при достаточно высоком коэффициенте толщины заготовки, прокатываемой в равнобоком угловом калибре (рис. IV, $a, б$), горизонтальная плоскость спая остается почти не искаженной, тогда как по краям верхней и посередине нижней грани заготовки имеет место энергичная де-

формация с образованием углового профиля. При малом коэффициенте толщины заготовки, прокатываемой в угловом калибре (рис. IV, $в, г$), горизонтальная плоскость спая изгибается почти в такой же степени, как и верхняя и нижняя грани.

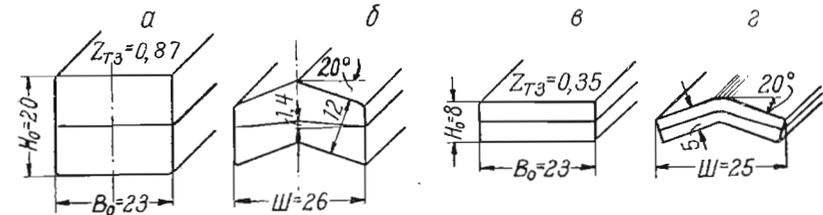


Рис. IV. Свинцовые плоскодвуслойные образцы с высоким и малым коэффициентом толщины, прокатанные в равнобоком угловом калибре

При прокатке в равнобоком угловом калибре относительно толстых ребристомногослойных заготовок (рис. V) сильнее всего подвергаются осадке крайние элементы 1 и 7 по месту контакта с верхним валком (рис. V, $б$) и средний элемент 4 по месту контакта с нижним валком. Деформация осадкой дру-

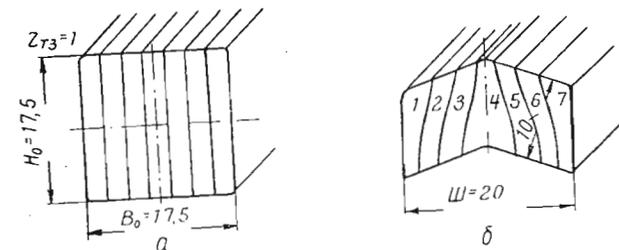


Рис. V. Свинцовый ребристомногослойный образец с высоким коэффициентом толщины, прокатанный в равнобоком угловом калибре

гих элементов 2, 3, 5 и 6 поверху гаснет от краев к середине и понизу от середины к краям.

Из сказанного следует, что

1) в первых по ходу прокатки одном-двух развернутых равнобоких угловых калибрах, пока отношение $\frac{H_0}{B_0}$ больше, равно

или незначительно меньше $\frac{1}{2}$, образование полок происходит не только и не столько за счет уширения, сколько за счет приращения, связанного с геометрией калибра;

2) ширина равнобокого углового раската после пропуска при любых практически возможных углах закрытия полок всегда больше ширины задаваемой в калибр заготовки.

Подобный анализ деформации осадкой и гибкой сложнее осуществить применительно к другим формам развернутых калибров, но опытная прокатка подтверждает его справедливость не только в отношении равнобоких угловых, но и в отношении неравнобоких угловых, зетовых и швеллерных калибров.

ГЛАВА ПЕРВАЯ

ОБЩИЕ ОСНОВЫ РАЗВЕРНУТОЙ КАЛИБРОВКИ ФАСОННЫХ ПРОФИЛЕЙ

1. Выбор коэффициентов обжатия

Калибровка как простых, так и сложных сортовых профилей базируется главным образом на коэффициентах вытяжки, коэффициентах обжатия и других коэффициентах пластической деформации, так или иначе с ними связанных, выбираемых по данным практики или на основании различных теоретических положений.

От рационального выбора коэффициентов деформации по пропускам зависит качество готового профиля, расход энергии при прокатке, стойкость прокатных валков на истирание, нормальная эксплуатация основного оборудования прокатной установки и ряд организационных, технологических и технико-экономических факторов. Поэтому понятны настойчивые попытки различных исследователей-прокатчиков найти объективный и рациональный метод определения коэффициентов вытяжки по пропускам. Однако, предложенные до сих пор способы выбора коэффициентов деформации при прокатке не решают вопроса удовлетворительно.

Коэффициенты вытяжки или коэффициенты обжатия по пропускам надо выбирать или определять, учитывая прежде всего способность металла пластически деформироваться без разрушения при данных температурно-скоростных условиях. Как было доказано еще Грум-Гржимайло [1], а затем Кушакевичем [2] пластические свойства металла при прокатке в настоящее время используются далеко не полностью. Кушакевич, прокатывая мягкие углеродистые стали и цветные сплавы, достигал за один пропуск коэффициентов вытяжки от 1,84 до 4,6 и коэффициентов обжатия от 2,25 до 11,2, не обнаруживая при этом каких-либо внешних дефектов в прокатываемых полосах или других признаков ухудшения качества металла. Этими исследованиями опровергается утверждение Кирхберга о предельно допустимом уровне пластичности металла коэффициенте вытяжки при прокатке за пропуск равном двум.

Большинство возможностей в количественной характеристике способности металла пластически деформироваться (при данных температурно-скоростных условиях и технологическом процессе обработки металлов давлением) открываются новым оригинальным показателем — технологической деформируемостью металла, — обоснованным действ. чл. АН БССР С. И. Губкиным [3].

Технологическая деформируемость металла, определяемая в зависимости от средней механической деформируемости по методу двух показателей [4, 5], по данным С. И. Губкина, в первом приближении может быть представлена для различных технологических процессов обработки металлов давлением как

$$D_T = \frac{aD' + b}{v}, \quad (1.1)$$

где D_T — технологическая деформируемость металла в условиях данного технологического процесса;

D' — средняя механическая деформируемость, определяемая в лабораторных условиях по методу двух показателей;

a , b и v — коэффициенты, зависящие от вида технологического процесса обработки металлов давлением;

при прокатке металла в калибрах: $a = 1,5$, $b = 1$ и $v = 2,5$
 » » » в гладких валиках: $a = 2$, $b = 1$ и $v = 3$.

Конечно, коэффициенты вытяжки определяются не только технологической деформируемостью металла, но и требованиями в отношении точности, правильности и чистоты поверхности получаемого путем прокатки профиля и, следовательно, условиями службы валков и степенью их стойкости на истирание, а также условиями захвата металла валками, условиями прочности рабочих валков, как наиболее нагруженного исполнительного элемента прокатного стана, мощностью мотора привода стана и другими. Иначе говоря, технологическая деформируемость металла хотя и является главным, можно сказать, базисным аргументом коэффициента вытяжки, как сложной функции, но не единственным, в особенности при сортовой прокатке.

Поэтому, очевидно, коэффициенты вытяжки по пропускам, полученные на основании опыта в производственных условиях, будут сохранять свое значение еще длительное время. Тем не менее необходимо всесторонне исследовать возможности и условия прокатки металла со сверхобжатиями особенно на профилях простой формы, полосах, лентах и листах и создавать научные основы интенсификации процесса деформации металла в валках и разработки усиленных конструкций высокопроизводительных прокатных установок.

По литературным и опытным данным коэффициенты обжатия $\lambda = \frac{H}{h}$ и коэффициенты вытяжки $\mu = \frac{Q}{q}$ при прокатке равнобоких и неравнобоких угольников составляют:

для чистовых калибров $\lambda = 1,05 \div 1,30$ и $\mu = 1,05 \div 1,25$;
 » предчистовых » $\lambda = 1,10 \div 1,50$ и $\mu = 1,10 \div 1,40$;
 » подготовительных » $\lambda = 1,20 \div 2,00$ и $\mu = 1,10 \div 1,80$.

Эти же коэффициенты могут быть приняты и при калибровке зетовых и зетообразных профилей, а также, пока практика не выработала более надежных данных, при развернутой калибровке швеллеров.

Для первых фасонных калибров наиболее тяжелых профилей из сортамента стана следует проверить соответствие выбранного коэффициента обжатия мощности, точнее крутящему моменту, мотора привода стана, а также условиям захвата металла валками и прочности валков.

2. Связь коэффициента обжатия с крутящим моментом прокатки

Мощность, необходимая для деформации металла при прокатке в гладких валках, может быть определена по формуле чл.-корр. АН СССР Иг. М. Павлова [6]:

$$N = pbD_0 v \alpha_3 \operatorname{tg} \frac{\alpha_3}{2}, \quad (1.2)$$

где N — мощность деформации металла в валках, *кВт/сек*;
 p — среднее удельное давление металла на валки, *кг/мм²*;
 b — средняя ширина полосы в очаге деформации, *мм*;
 D_0 — катающий диаметр валков, *мм*;
 v — окружная скорость валков, *м/сек*;
 α_3 — угол захвата в радианах.

При прокатке в калиброванных валках мощность повышается за счет сил трения металла о реборды и бурты ручьев, при этом влияние буртов на потребную мощность при прочих равных условиях тем сильнее, чем выше отношение проекции поверхности буртов на вертикальную параллельную направлению прокатки плоскость к основной контактной поверхности металла с валками, точнее к проекции основной контактной поверхности на горизонтальную плоскость. Самостоятельный учет влияния боковых сил трения на мощность при деформации металла в калибрах пока затруднителен и не точен.

Так как в полосовых и подобных полосовым — развернутых угловых, зетовых и швеллерных калибрах боковая поверхность калибров сравнительно с основной невелика, то для решения поставленной нами задачи допустимо пренебречь силами трения о боковую поверхность.

И тогда выражение (1.2) можно преобразовать (рис. 1), заменив

$$\operatorname{tg} \frac{\alpha_3}{2} = \frac{H-h}{D_0 \sin \alpha_3}$$

и окружную скорость валков

$$v = \frac{v_h}{1+s},$$

где v_h — скорость выхода из валков переднего конца полосы, м/сек;

s — опережение.

Умножая мощность на время пропуска

$$\tau = \frac{l}{v_h},$$

получим работу деформации металла в валках за пропуск.

$$A = pV \frac{H-h}{h} \cdot \frac{\alpha_3}{(1+s) \sin \alpha_3}.$$

Так как

$$\frac{\alpha_3}{(1+s) \sin \alpha_3} \approx 1,$$

то можем написать:

$$A = pV \frac{H-h}{h}, \quad (1.3)$$

Или через коэффициент обжатия:

$$A = pV(\lambda - 1). \quad (1.3a)$$

Имея в виду, что при прокатке полос и простых фасонных развернутых сечений $\lambda \approx \mu$, работу деформации можно представить и так:

$$A = pV(\mu - 1), \quad (1.4)$$

где A — работа деформации металла в валках за пропуск в кгм;

V — объем прокатываемой полосы, см³;

λ и μ — коэффициент обжатия и коэффициент вытяжки за пропуск.

Таким образом, работа деформации при прокатке за пропуск может быть определена как по Павлову (1.2), так и по Гавриленко (1.3), (1.3a) или (1.4).

Последнюю составляющую работы прокатки — дополнитель-

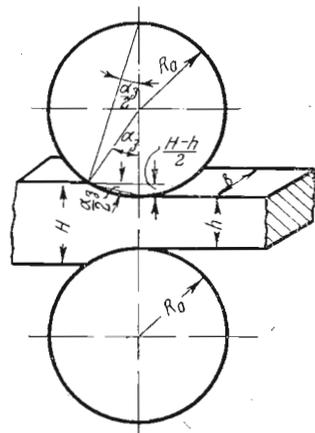


Рис. 1. К преобразованию формулы И. М. Павлова для определения работы прокатки.

ную работу трения в шейках валков от сил давления металла на валки можно представить как:

$$A_{ш} = 2P f_{ш} l \frac{d}{D_0}, \quad (1.5)$$

где $A_{ш}$ — дополнительная работа трения в шейках рабочих валков, кгм,

$f_{ш}$ — коэффициент трения в шейках;

l — длина полосы после пропуска, м;

D_0 и d — катающий диаметр валков и диаметр шейки;

P — полное давление металла на один валок, кг.

Для прямоугольных и близких к ним сечений:

$$P = pb \sqrt{R_0(H-h)}. \quad (1.6)$$

Подставляя значение P в формулу (1.5), после элементарных преобразований получим:

$$A_{ш} = A \frac{f_{ш} d}{\sqrt{R_0 h (\lambda - 1)}}. \quad (1.7)$$

Или в другом виде:

$$A_{ш} = A \frac{f_{ш} d}{R_0 \alpha_3}. \quad (1.8)$$

Как видно из равенства (1.7) и (1.8) в связи с уменьшением по ходу прокатки хорды дуги захвата $\sqrt{R_0 h (\lambda - 1)}$ или дуги захвата $R_0 \alpha_3$, соотношение работы деформации и дополнительной работы трения будет изменяться от пропуска к пропуску в сторону относительного увеличения составляющей $A_{ш}$.

При работе на роликовых подшипниках, подшипниках скольжения из пластмасс или закрытых подшипниках жидкостного трения с малым коэффициентом трения, работа трения в шейках валков значительно меньше работы деформации и почти сводится на-нет. И наоборот при работе на металлических подшипниках скольжения с высоким коэффициентом трения, работа трения в шейках становится ощутительной и при малых углах захвата может превышать работу деформации за пропуск.

По данным проф. А. И. Целикова [7] в подшипниках скольжения с металлическими вкладышами у станов горячей прокатки коэффициент трения

$$f_{ш} = 0,07 \div 0,10,$$

а в подшипниках с вкладышами из пластмассы

$$f_{ш} = 0,01 \div 0,03.$$

В подшипниках жидкостного трения и подшипниках качения

$$f_{ш} = 0,003.$$

Чистая работа прокатки за пропуск T представится из равенств (1.3а) и (1.7):

$$T = pV(\lambda - 1) \left[1 + \frac{f_{ш} d}{\sqrt{R_0 h (\lambda - 1)}} \right]. \quad (1.9)$$

Или в другом виде из равенств (1.3а) и (1.8):

$$T = pV(\lambda - 1) \left(1 + \frac{f_{ш} d}{R_0 \alpha_3} \right). \quad (1.10)$$

Суммарный крутящий момент или момент прокатки M от всех сил в калибре и в шейках валков, за исключением сил трения в шейках при холостом ходе стана, можно выразить через работу прокатки как:

$$M = \frac{TR_0(1+s)}{l}.$$

Пренебрегая опережением s и заменяя $\frac{V}{l} = bh$, будем иметь:

$$M = pbhR_0(\lambda - 1) \left[1 + \frac{f_{ш} d}{\sqrt{R_0 h (\lambda - 1)}} \right]. \quad (1.11)$$

Или в другом виде:

$$M = pbhR_0(\lambda - 1) \left(1 + \frac{f_{ш} d}{R_0 \alpha_3} \right), \quad (1.12)$$

где b и h — ширина и толщина полосы после пропуска в мм. Из равенств (1.11) и (1.12) величина

$$p' = p \left[1 + \frac{f_{ш} d}{\sqrt{R_0 h (\lambda - 1)}} \right] \quad (1.13)$$

и

$$p' = p \left(1 + \frac{f_{ш} d}{R_0 \alpha_3} \right) \quad (1.14)$$

по смыслу совпадает с «константой» проф. М. В. Врацкого и частично с «константой полного смещения» действ. чл. АН УССР А. П. Чекмарева. Из опытов проф. М. В. Врацкого [8] в пересчете на постоянную температуру прокатки 900° для подготовительных и предотделочных развернутых угловых калибров при прокатке равнобоких угольников от № 2 до № 4, 5 и неравнобокого угольника № 9/6 константа мало зависит от размера профиля и составляет

$$p' = 28 \div 29 \text{ кг/мм}^2$$

и для чистовых калибров

$$p' = 40 \div 65 \text{ кг/мм}^2;$$

при этом пересчет константы на истинную температуру прокатки t для данного пропуска проф. Врацкого рекомендуется по формуле:

$$\lg p' = \lg p'_{900} - 0,0015(t - 900). \quad (1.15)$$

Из опытов проф. А. П. Чекмарева [9] для подготовительных и предотделочных калибров при прокатке угольников №№ 6 и 8 константа полного смещения при нормальном температурном режиме прокатки увеличивается от калибра к калибру по ходу прокатки в пределах $p' = 18 \div 32 \text{ кг/мм}^2$ и для чистовых калибров составляет

$$p' = 33 \div 55 \text{ кг/мм}^2.$$

В пересчете на одни и те же температуры прокатки опытные данные проф. Чекмарева и Врацкого почти совпадают.

При выполнении калибровки с учетом силовых и энергетических факторов весьма важно знать температурный режим прокатки. Однако в этой области проведено еще мало специальных исследований, и по имеющимся данным при прокатке угольников, зетов и швеллеров можно установить только ориентировочно:

- 1) температуру начала прокатки в фасонных калибрах $t_n = 1050 \div 1150^\circ$;
- 2) температуру конца прокатки $t_k = 800 \div 980^\circ$;
- 3) средний перепад температуры металла за каждый пропуск $\Delta t = 20 \div 50^\circ$.

Более высокая температура начала и конца прокатки и меньший температурный перепад по пропускам соответствует самым крупным профилям с наибольшей толщиной элементов (полок и стенки) до 24—30 мм. Низкая температура начала и конца прокатки и больший температурный перепад по пропускам соответствуют самым мелким профилям с наименьшей толщиной элементов до 3—4 мм.

Таким образом, формулы (1.11) и (1.12) можно представить значительно проще:

$$M = p' bhR_0(\lambda - 1). \quad (1.16)$$

Момент прокатки M должен быть уравновешен крутящим моментом мотора привода стана с учетом допускаемой перегрузки, потерь в подшипниках при холостом ходе стана и инерционных моментов маховика, если таковой в системе привода имеется, а также степени перекрытия пропусков во времени.

Иногда представляет интерес определение коэффициента обжатия для подготовительных калибров, допускаемых крутящим моментом мотора привода стана, при этом из уравнения (1.11) получим:

$$\lambda = 1 + \frac{M}{pbhR_0} + \frac{f_{ш}^2 d^2}{2hR_0} \sqrt{\left(\frac{M}{pbhR_0} + \frac{f_{ш}^2 d^2}{4hR_0}\right) \cdot \frac{f_{ш}^2 d^2}{hR_0}}, \quad (1.17)$$

или значительно проще из уравнения (1.16):

$$\lambda = 1 + \frac{M}{p' bhR_0}. \quad (1.18)$$

В реальных условиях прокатки угольников, да очевидно и других профилей, в развернутых калибрах, константа p' формулы (1.16) и (1.18) увеличивается по ходу прокатки от пропуска к пропуску на $10 \div 20\%$, тогда как толщина полок в подготовительных калибрах уменьшается и обычно значительно энергичнее, чем p' . При таких условиях, как видно из (1.16) и (1.18) при $b \approx \text{const.}$, крутящий момент мотора привода стана допускает наращивание интенсивности деформации по ходу прокатки. Поэтому в целях лучшего использования энергетических возможностей прокатной установки, следует по ходу прокатки в подготовительных калибрах коэффициенты обжатия или наращивать, или, по крайней мере, сохранять одинаковыми, а не снижать, как это было рекомендовано Жезом.

Как показали проверочные расчеты, благодаря снижению по ходу прокатки абсолютных обжатий, прочность валков также допускает прогрессивный режим деформации.

Прогрессивный или даже постоянный режим деформации по ходу прокатки благоприятно сказывается и на условиях захвата металла валками, так как при этом при прочих равных условиях уменьшается абсолютное обжатие по первому пропуску.

3. Проверка валков на прочность

Достаточно проверить валки на прочность по первому фасонному калибру.

Изгибающий момент от силы давления металла на валок (рис. 2) в общем виде представится как для балки на двух опорах:

$$M_0 = P \left(\frac{\Gamma D}{\Gamma + D} - \frac{\text{ш}}{8} \right) \quad (1.19)$$

и для шейки

$$M_{ш} = \frac{P l_{ш} \Gamma}{\Gamma + D}, \quad (1.20)$$

где Γ и D — расстояние от осей нажимных винтов до точки приложения силы P , зависящее от длины бочки валка l_0 и шеек

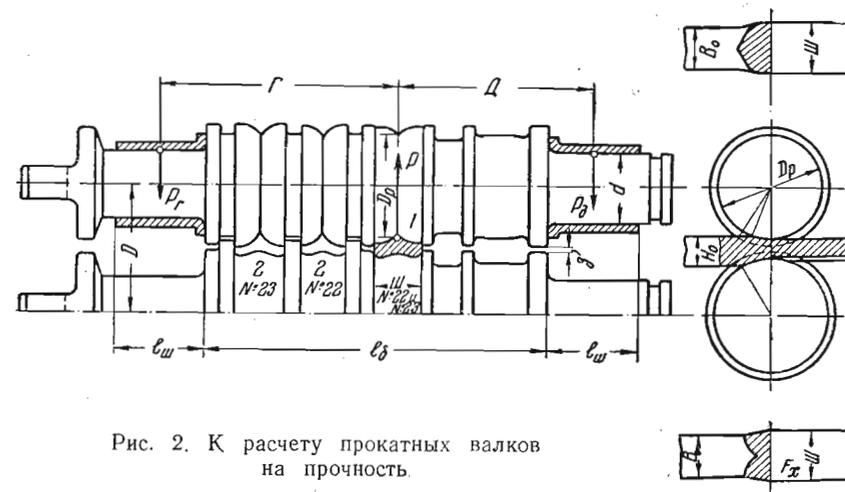


Рис. 2. К расчету прокатных валков на прочность.

$l_{ш}$ и положения калибра в валках, а P — сила давления металла на валок, определяемая как:

$$P = pF, \quad (1.21)$$

где p — среднее удельное давление металла на валки, а

F — проекция контактной поверхности металла с валками на плоскость, перпендикулярную направлению силы P ; вместо F можно воспользоваться проекцией контактной поверхности на горизонтальную плоскость F_x , ибо F_x мало отличается от F , но определяется во многих случаях легче.

Для приближенного определения площади F — контактной поверхности фасонных развернутых калибров можно воспользоваться формулой

$$F = \text{ш} \sqrt{R_c \Delta h_c}, \quad (1.22)$$

подставляя среднее обжатие раската за пропуск

$$\Delta h_c = H_c - h_c, \quad (1.23)$$

определяемое через среднюю толщину профиля до пропуска

$$H_c = \frac{Q}{\text{ш}} \quad (1.24)$$

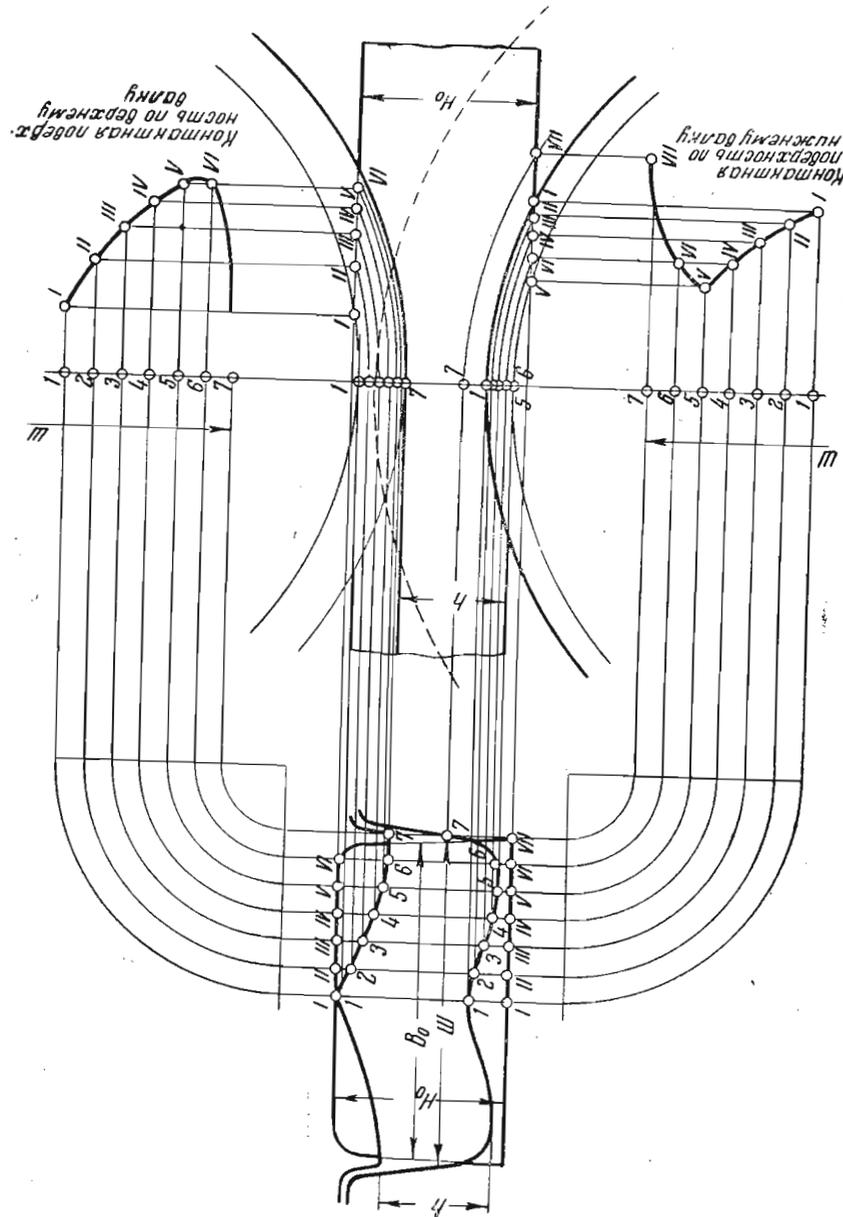


Рис. 3. Графическое определение контактной поверхности металла с валками при прокатке.

и среднюю толщину профиля после пропуска:

$$h_c = \frac{q}{\text{ш}}, \quad (1.25)$$

где Q и q — площадь поперечного сечения профиля до и после пропуска, мм^2 ,

Ш и ш — ширина профиля до и после пропуска, мм .

Средний катающий радиус валков по калибру представится как

$$R_c \approx 0,5 (D - h_c). \quad (1.26)$$

Более точное определение площади $F \approx F_x$ может быть выполнено графическим способом (рис. 3) или аналитически, как это будет показано ниже применительно к определенной форме развернутого калибра.

Среднее удельное давление может быть определено по Целикову [7] с помощью графиков (рис. 4 и 5), по Губкину [10] или по Эжелунду [11], при этом во всех случаях толщину профиля до и после пропуска, обжатие и катающий диаметр или радиус валков следует рассматривать как средние (1.23), (1.24), (1.25) и (1.26).

По Целикову, при определении среднего удельного давления прежде всего устанавливается значение коэффициента δ (отношение коэффициента трения к половине угла захвата)

$$\delta = f \sqrt{\frac{4R_c}{\Delta h_c}} \quad (1.27)$$

и относительное обжатие за пропуск

$$\varepsilon_n = \frac{\Delta h_c}{H_c}, \quad (1.28)$$

после чего с помощью графиков (рис. 4 и 5) отыскивается отношение $\left| \frac{p}{k} \right|$ (коэффициент напряженного состояния) и определяется удельное давление:

$$p = k \left| \frac{p}{k} \right|. \quad (1.29)$$

По Губкину среднее удельное давление определяется по формуле:

$$p = k \left(1 + f \sqrt{\frac{R_c}{h_c}} \right). \quad (1.30)$$

Обстоятельное исследование зависимости коэффициента трения металла о валки от основных факторов прокатки выполнено Т. М. Голубевым. По Голубеву, коэффициент трения определяется как

$$f = f_0 Z_f, \quad (1.31)$$

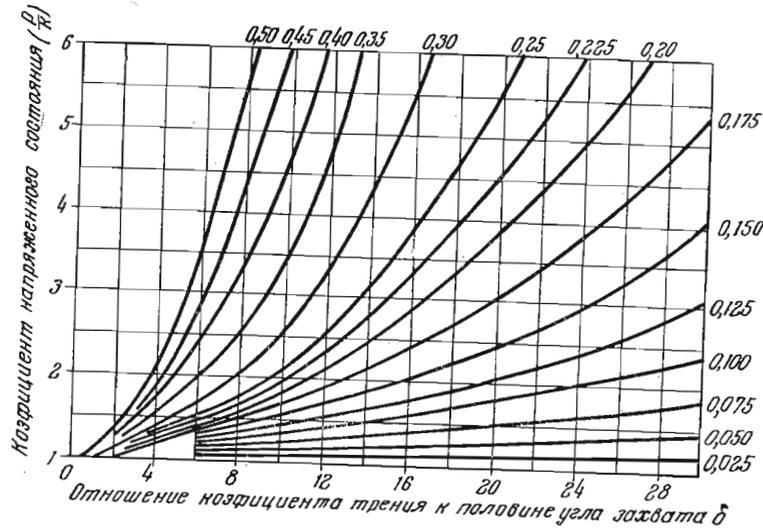


Рис. 4. Коэффициент напряженного состояния (по Целикову)

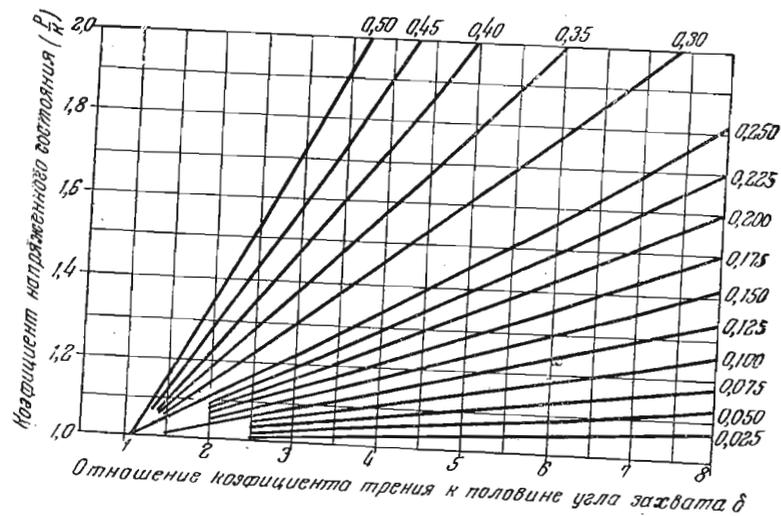


Рис. 5. Коэффициент напряженного состояния (по Целикову)

при этом условный коэффициент трения

$$f_0 = (0,33 - 0,01 C) (1 - 0,16 v_c), \quad (1.32)$$

а множитель Z_f устанавливается из уравнения:

$$\lg Z_f = \frac{T_{\text{п}} - T_c}{C v_c} 10^{-5}, \quad (1.33)$$

где $T_{\text{п}}$ и T_c — абсолютная температура плавления и абсолютная температура прокатываемой стали в °С по данному пропуску, а C — содержание в стали углерода в процентах.

Голубев рекомендует также и другие соотношения, требуемые при определении коэффициента трения, а именно:

1) абсолютную температуру плавления стали в зависимости от содержания углерода:

$$T_{\text{п}} = 1800 - 225 C; \quad (1.34)$$

2) среднюю скорость скольжения металла относительно валков в очаге деформации:

$$v_c = \frac{v}{3} \frac{\Delta h_c}{h_c}, \quad (1.35)$$

где окружная скорость валков

$$v = \frac{2\pi R_c n}{60}, \text{ м/сек.} \quad (1.36)$$

По Эжелунду удельное давление:

$$p = \left(1 + \frac{1,6 f \sqrt{R_c \Delta h_c} - 1,2 \Delta h_c}{H_c + h_c} \right) \cdot \left(k + \frac{2\varepsilon v \sqrt{\frac{\Delta h_c}{R_c}}}{H_c + h_c} \right), \quad (1.37)$$

где коэффициент трения для стальных валков:

$$f = 1,05 - 0,0005 t; \quad (1.33)$$

для чугунных валков:

$$f = 0,8(1,05 - 0,0005 t); \quad (1.39)$$

удельное сопротивление стали при статическом сжатии:

$$k = (14 - 0,01 t) (1,4 + C + Mn + 0,3 Cr); \quad (1.40)$$

вязкость прокатываемой стали:

$$\varepsilon = 0,01 (14 - 0,01 t) C_v, \quad (1.41)$$

где C , Mn и Cr — содержание в стали углерода, марганца и хрома в процентах,

C_v — коэффициент, зависящий от скорости прокатки и при скорости до 6 м/сек равный 1, а при скорости от 6 до 10 м/сек равный 0,8.

Зная изгибающий момент в опасном сечении бочки валка (1.19) и в шейке (1.20), можем определить напряжения в бочке:

$$\sigma_0 = \frac{M_0}{0,1 D^3} \quad (1.42)$$

и точно также в шейке:

$$\sigma_{ш} = \frac{M_{ш}}{0,1 d^3} \quad (1.43)$$

Бочка валка работает главным образом на изгиб, и скручивающими напряжениями можно пренебречь. В шейках валков, кроме изгибающих напряжений, возникает значительные скручивающие напряжения, определяемые как

$$\tau_{ш} = \frac{M}{0,4 d^3} \quad (1.44)$$

где M — момент прокатки по данному пропуску (1.11), (1.12) в кг·см.

Тогда расчетные нормальные напряжения в шейках стальных валков определяются на основании четвертой теории прочности [7]:

$$\sigma_p = \sqrt{\sigma_{ш}^2 + 3\tau_{ш}^2} \quad (1.45)$$

Для чугунных валков на основании третьей теории прочности:

$$\sigma_p = 0,375 \sigma_{ш} + 0,625 \sqrt{\sigma_{ш}^2 + 3\tau_{ш}^2} \quad (1.46)$$

По данным проф. А. И. Целикова [7], для кованой углеродистой стали допускаемые напряжения изгиба:

$$R_b = 1200 \div 1300 \text{ кг/см}^2;$$

для литых стальных валков

$$R_b = 1000 \div 1200 \text{ кг/см}^2;$$

для чугунных валков

$$R_b = 600 \div 750 \text{ кг/см}^2.$$

Проверка условий захвата металла валками приводится ниже в соответствующих главах и разделах по каждому типу профиля.

4. Аналитическое определение контактной поверхности металла с валками при прокатке

Наибольшая нагрузка и напряжения в валках при прокатке угольников, зетов и швеллеров чаще всего соответствуют пропуску в первом фасонном калибре.

Как показали наши лабораторные исследования, а также исследования прокатки заготовки с вставленными горизонталь-

ными гужонами с резьбовой нарезкой [12], пластический изгиб заготовки желобом в первом калибре еще не получает заметного развития (см. рис. 31). Поэтому, не усложняя задачи, проекцию контактной поверхности металла с валками на горизонтальную плоскость определим путем отыскания поверхности

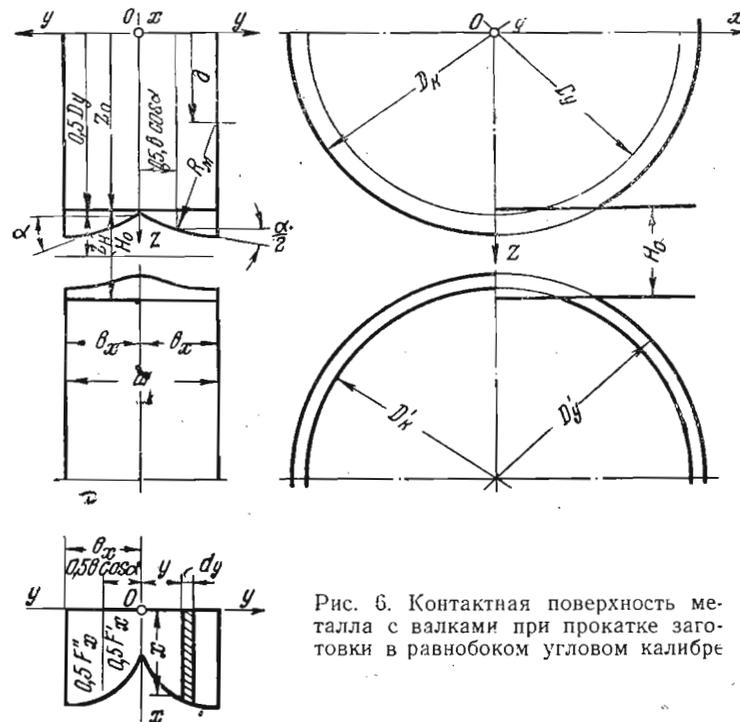


Рис. 6. Контактная поверхность металла с валками при прокатке заготовки в равнобоком угловом калибре

пересечения верхней (или нижней) основной грани задаваемой в калибр прямоугольной заготовки с валком, как телом вращения, образованным вращением кривой контура верхнего (или нижнего) ручья вокруг оси валка (рис. 6). Ясно при этом, что форма этих кривых должна быть установлена заранее.

Равнобокий угловой калибр

Применительно к рекомендованной нами в дальнейшем форме развернутого равнобокого углового калибра, приняв направление координатных осей, как показано на рис. 6, можем написать три уравнения:

для верхнего вала на прямом участке полки

$$x^2 + z^2 = (0,5 D_y + y \operatorname{tg} \alpha)^2; \quad (1.47)$$

на изогнутом участке полки

$$x^2 + z^2 = \left(\vartheta + \sqrt{R_M^2 - y^2} \right)^2 \quad (1.48)$$

и для верхней основной грани заготовки:

$$z = z_0. \quad (1.49)$$

Тогда из равенств (1.47) и (1.49).

$$x = \sqrt{(0,5 D_y + y \operatorname{tg} \alpha)^2 - z_0^2}.$$

Элемент искомой поверхности

$$dF'_x = x dy,$$

или

$$dF'_x = \sqrt{(0,5 D_y + y \operatorname{tg} \alpha)^2 - z_0^2} dy.$$

Отсюда проекция контактной поверхности металла с валком на прямом участке полки:

$$F'_x = 2 \int_0^{0,5b \cos \alpha} \sqrt{(0,5 D_y + y \operatorname{tg} \alpha)^2 - z_0^2} dy.$$

После интегрирования и подстановки пределов получим:

$$F'_x = \frac{1}{4 \operatorname{tg} \alpha} \left\{ (D_y + b \sin \alpha) \sqrt{(D_y + b \sin \alpha)^2 - 4 z_0^2} - \right. \\ \left. - D_y \sqrt{D_y^2 - 4 z_0^2} - 4 z_0^2 \ln \left[\frac{D_y + b \sin \alpha + \sqrt{(D_y + b \sin \alpha)^2 - 4 z_0^2}}{D_y + \sqrt{D_y^2 - 4 z_0^2}} \right] \right\} \quad (1.50)$$

Из равенства (1.48) и (1.49)

$$x = \sqrt{\left(\vartheta + \sqrt{R_M^2 - y^2} \right)^2 - z_0^2}.$$

Элемент искомой поверхности

$$dF''_x = \sqrt{\left(\vartheta + \sqrt{R_M^2 - y^2} \right)^2 - z_0^2} dy.$$

Отсюда проекция контактной поверхности металла с валком на изогнутом участке полки:

$$F''_x = 2 \int_{0,5 b \cos \alpha}^{b_x} \sqrt{\left(\vartheta + \sqrt{R_M^2 - y^2} \right)^2 - z_0^2} dy.$$

Этот интеграл может быть взят только приближенно, если заменить

$$\vartheta + \sqrt{R_M^2 - y^2} \approx 0,5 (D_y + b \sin \alpha) + \\ + (y - 0,5 b \cos \alpha) \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}.$$

Тогда

$$F''_x = 2 \int_{0,5 b \cos \alpha}^{b_x} \sqrt{\left[0,5 (D_y + b \sin \alpha) + (y - 0,5 b \cos \alpha) \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} \right]^2 - z_0^2} dy.$$

После интегрирования, подстановки пределов и замены

$$0,5 (D_y + b \sin \alpha) + (b_r - 0,5 b \cos \alpha) \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} = 0,5 D_{Rr}$$

будем иметь:

$$F''_x = \frac{1}{4 \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}} \left\{ D_{Rr} \sqrt{D_{Rr}^2 - 4 z_0^2} - (D_y + b \sin \alpha) \times \right. \\ \times \sqrt{(D_y + b \sin \alpha)^2 - 4 z_0^2} - \\ \left. - 4 z_0^2 \ln \left[\frac{D_{Rr} + \sqrt{D_{Rr}^2 - 4 z_0^2}}{D_y + b \sin \alpha + \sqrt{(D_y + b \sin \alpha)^2 - 4 z_0^2}} \right] \right\} \quad (1.51)$$

Полная проекция контактной поверхности металла с верхним валком на горизонтальную плоскость представится как

$$F_x = F'_x + F''_x. \quad (1.52)$$

По нижнему валку очертание ручья почти повторяет верхний ручей, и проекции контактных поверхностей по обоим валкам должны быть примерно одинаковы.

Можно ограничиться расчетом проекции контактной поверхности металла только с верхним валком, если совместить нейтральную ось с осью вала.

ральную ось задаваемой прямоугольной заготовки с нейтральной линией калибра, при этом

$$z_0 = 0,5(D - H_0). \quad (1.53)$$

Неравнобокий угловой калибр

Применительно к рекомендованной нами в дальнейшем форме развернутого неравнобокого углового калибра, приняв направление координатных осей, как показано на рис. 7, получим

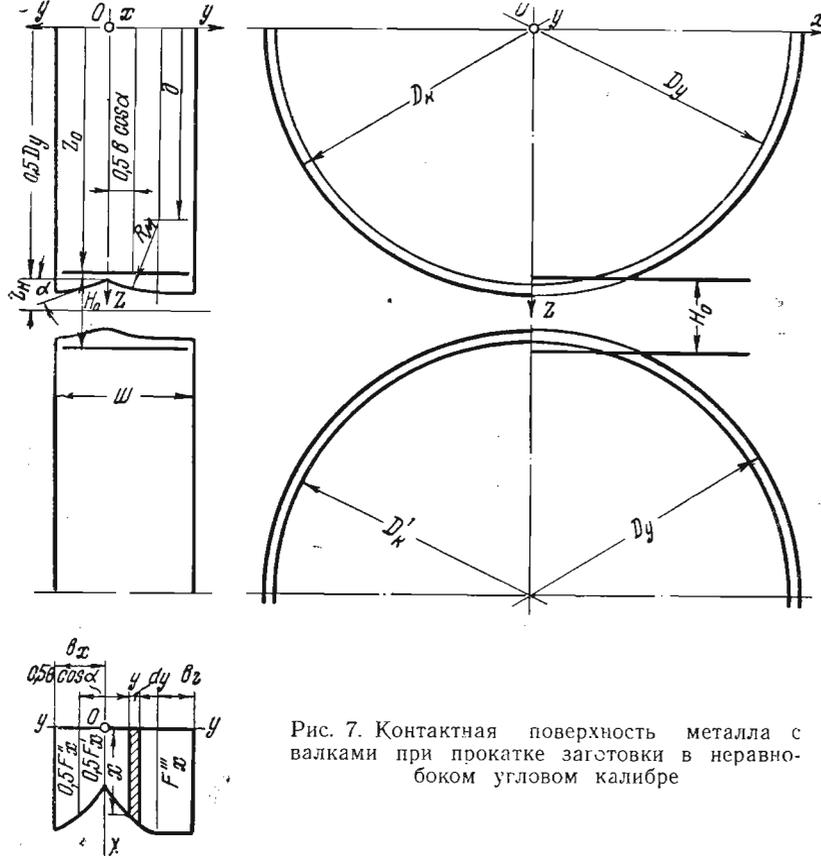


Рис. 7. Контактная поверхность металла с валками при прокатке заготовки в неравнобоком угловом калибре

те же уравнения (1.50) и (1.51), что и для равнобоких угловых калибров, а также дополнительно уравнение (1.54) для определения проекции контактной поверхности металла с валком на горизонтальном участке большей полки:

$$F_x'' = 0,5 b_r D_k \sin \left(2 \arcsin \sqrt{\frac{0,5 H_0 + b_y - z_n}{D_k}} \right). \quad (1.54)$$

Полная проекция контактной поверхности металла с валком при задаче прямоугольной заготовки в неравнобокий развернутый угловой калибр:

$$F_x = F_x' + F_x'' + F_x'''. \quad (1.55)$$

Правильный зетовый калибр

Проекция контактной поверхности металла с валками на горизонтальную плоскость при задаче прямоугольной заготовки в правильный развернутый принятый нами зетовый калибр (рис. 8) определится по тому же принципу, что и для угловых

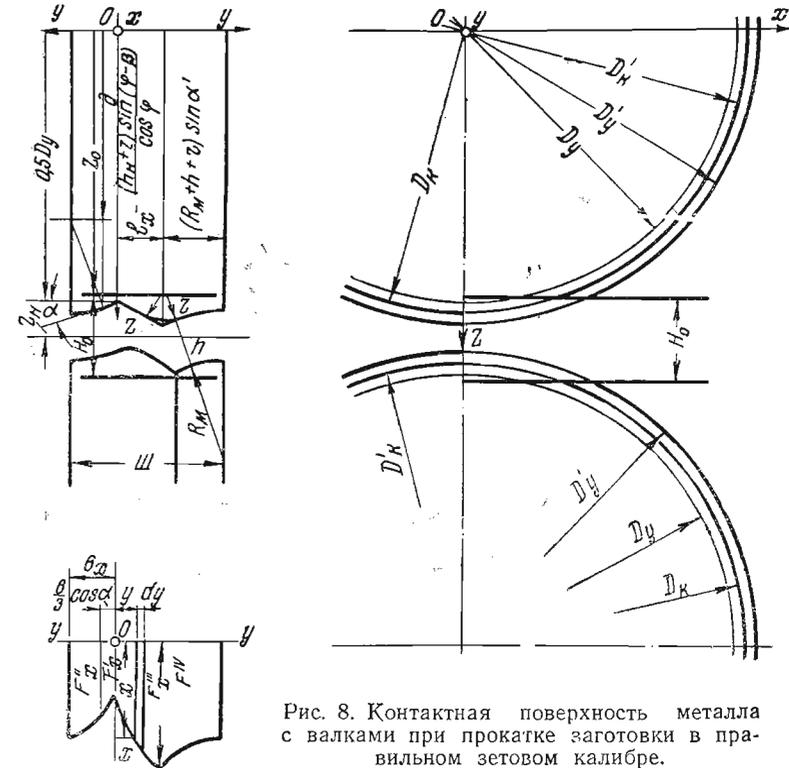


Рис. 8. Контактная поверхность металла с валками при прокатке заготовки в правильном зетовом калибре.

калибров, с той лишь разницей, что по зетовому калибру контактную поверхность приходится определять по верхнему валку на четырех участках ручья, а именно:

1. На прямом участке полки по наружной грани в пределах от 0 до $\frac{b}{3} \cos \alpha$:

$$F'_x = \frac{1}{8 \operatorname{tg} \alpha} \left\{ \left(D_y + \frac{2}{3} b \sin \alpha \right) \sqrt{ \left(D_y + \frac{2}{3} b \sin \alpha \right)^2 - 4 z_0^2 } - \right. \\ \left. - D_y \sqrt{ D_y^2 - 4 z_0^2 } - \right. \\ \left. - 4 z_0^2 \ln \left[\frac{ D_y + \frac{2}{3} b \sin \alpha + \sqrt{ \left(D_y + \frac{2}{3} b \sin \alpha \right)^2 - 4 z_0^2 } }{ D_y + \sqrt{ D_y^2 - 4 z_0^2 } } \right] \right\}. \quad (1.56)$$

2. На изогнутом участке полки по наружной грани в пределах от $\frac{b}{3} \cos \alpha$ до $b x$:

$$F''_x = \frac{1}{8 \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}} \left\{ D_R \sqrt{ D_R^2 - 4 z_0^2 } - \left(D_y + \frac{2}{3} b \sin \alpha \right) \times \right. \\ \left. \times \sqrt{ \left(D_y + \frac{2}{3} b \sin \alpha \right)^2 - 4 z_0^2 } - \right. \\ \left. - 4 z_0^2 \ln \left[\frac{ D_R + \sqrt{ D_R^2 - 4 z_0^2 } }{ D_y + \frac{2}{3} b \sin \alpha + \sqrt{ \left(D_y + \frac{2}{3} b \sin \alpha \right)^2 - 4 z_0^2 } } \right] \right\}. \quad (1.57)$$

3. На участке ножки в пределах от 0 до

$$l_{x_1} = l_x - \frac{(h_H + r) \sin (\varphi - \beta)}{\cos \varphi}, \quad (1.58)$$

при этом угол закрытия ножки зетового калибра

$$\beta = \delta_H - \gamma, \quad (1.59)$$

УГОЛ ЛИНИИ НОЖКИ

$$\delta_H = \operatorname{arctg} \left(\frac{h + h_H \operatorname{tg} \alpha_{\max}}{h \operatorname{tg} \alpha_{\max} - h_H} \right), \quad (1.60)$$

УГОЛ НОЖКИ

$$\gamma = \operatorname{arc} \sin \frac{h_H}{l} \quad (1.61)$$

и вспомогательный угол зетового калибра

$$\varphi = \operatorname{arc} \operatorname{tg} \left[\frac{h + r}{(h_H + r) \sin (\alpha + \beta)} - \operatorname{ctg} (\alpha + \beta) \right]. \quad (1.62)$$

Тогда искомая контактная поверхность:

$$F''_x = \frac{1}{8 \operatorname{tg} \beta} \left\{ \left(D_y + 2 l_{x_1} \operatorname{tg} \beta \right) \sqrt{ \left(D_y + 2 l_{x_1} \operatorname{tg} \beta \right)^2 - 4 z_0^2 } - \right. \\ \left. - D_y \sqrt{ D_y^2 - 4 z_0^2 } - \right. \\ \left. - 4 z_0^2 \ln \left[\frac{ D_y + 2 l_{x_1} \operatorname{tg} \beta + \sqrt{ \left(D_y + 2 l_{x_1} \operatorname{tg} \beta \right)^2 - 4 z_0^2 } }{ D_y + \sqrt{ D_y^2 - 4 z_0^2 } } \right] \right\}. \quad (1.63)$$

4. На прямом и изогнутом участке второй полки по внутренней грани в пределах от l_{x_1} до

$$b_{x_1} = l_x + b_x - l_{x_1} \quad (1.64)$$

Тогда искомая контактная поверхность:

$$F'''_x = \frac{1}{8 \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}} \left\{ \left(D'_R + 2 b_{x_1} \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} \right) \sqrt{ \left(D'_R + 2 b_{x_1} \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} \right)^2 - 4 z_0^2 } - \right. \\ \left. - D'_R \sqrt{ D'^2_R - 4 z_0^2 } - \right. \\ \left. - 4 z_0^2 \ln \left[\frac{ D'_R + 2 b_{x_1} \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} + \sqrt{ \left(D'_R + 2 b_{x_1} \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} \right)^2 - 4 z_0^2 } }{ D'_R + \sqrt{ D'^2_R - 4 z_0^2 } } \right] \right\}. \quad (1.65)$$

Полная проекция контактной поверхности металла с валком на горизонтальную плоскость определится как сумма

$$F_x = F'_x + F''_x + F'''_x + F^{IV}_x. \quad (1.66)$$

Для неправильных зетовых и зетообразных развернутых калибров общее решение в доступных формулах для определения проекции контактной поверхности металла с валками дать невозможно. В этих случаях решение должно быть частным в зависимости от формы профиля и пожалуй легче выполнимо по средним обжатиям (1.22) и (1.23) или графическим способом (рис. 3).

Швеллерный калибр

Применительно к рассмотренной в дальнейшем и принятой нами форме развернутого швеллерного калибра (рис. 9) контактная поверхность металла с верхним валком при задаче

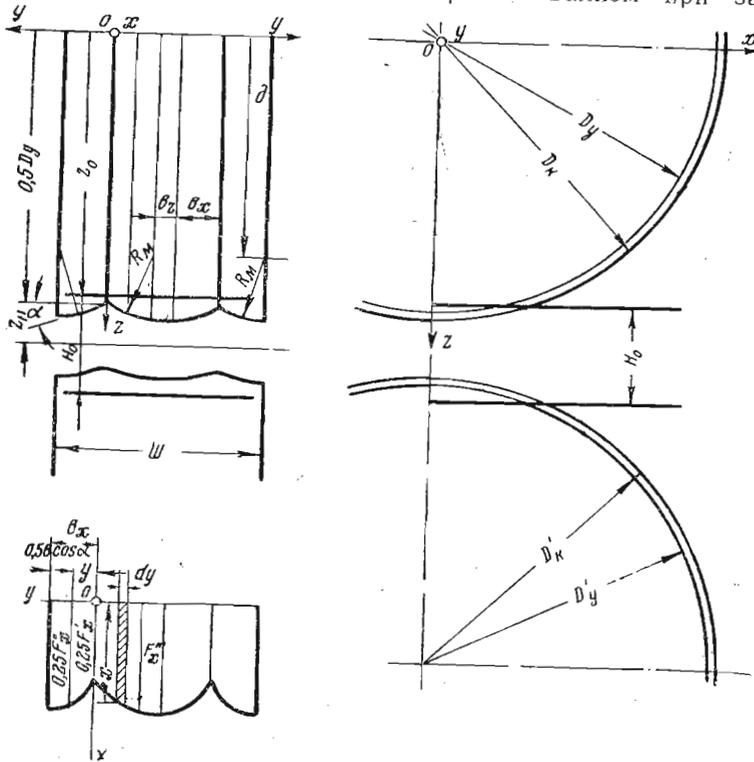


Рис. 9. Контактная поверхность металла с валками при прокатке заготовки в развернутом швеллерном калибре.

прямоугольной заготовки в фасонный калибр определится так же, как и для неравнобоких угловых калибров, а именно:

1. На прямом участке двух полок и стенки в пределах от 0 до $0,5 b \cos \alpha$:

$$F'_x = \frac{1}{2 \operatorname{tg} \alpha} \left\{ (D_y + b \sin \alpha) \sqrt{(D_y + b \sin \alpha)^2 - 4z_0^2} - \right. \\ \left. - D_y \sqrt{D_y^2 - 4z_0^2} - \right. \\ \left. - 4z_0^2 \ln \left[\frac{D_y + b \sin \alpha + \sqrt{(D_y + b \sin \alpha)^2 - 4z_0^2}}{D_y + \sqrt{D_y^2 - 4z_0^2}} \right] \right\}. \quad (1.67)$$

2. На изогнутом участке двух полок и стенки в пределах от $0,5 b \cos \alpha$ до b_x :

$$F''_x = \frac{1}{2 \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}} \left\{ D_R \sqrt{D_R^2 - 4z_0^2} - (D_y + b \sin \alpha) \times \right. \\ \left. \times \sqrt{(D_y + b \sin \alpha)^2 - 4z_0^2} - \right. \\ \left. - 4z_0^2 \ln \left[\frac{D_R + \sqrt{D_R^2 - 4z_0^2}}{D_y + b \sin \alpha + \sqrt{(D_y + b \sin \alpha)^2 - 4z_0^2}} \right] \right\}. \quad (1.68)$$

3. На горизонтальном участке стенки по формуле:

$$F'''_x = 0,5 e_r D_R \sin \left(2 \arcsin \sqrt{\frac{0,5 H_0 + b_y - z_H}{D_R}} \right). \quad (1.69)$$

Полная проекция контактной поверхности металла с валком на горизонтальную плоскость опять-таки определится как сумма:

$$F_x = F'_x + F''_x + F'''_x. \quad (1.70)$$

5. Количество фасонных калибров и углы закрытия полок

В целях сокращения парка валков количество фасонных калибров при получении различных профилей должно быть по возможности меньшим, но таким, которое обеспечивало бы надежное выполнение всех элементов профиля, а для угольников, зетов и швеллеров — выполнение ребра на стыке полок или полок с ножкой. Этому требованию вполне удовлетворяют хорошо работающие калибровки равнобоких и неравнобоких угольников, правильных и неправильных зетов и зетообразных профилей на пять-шесть фасонных калибров, хотя встречаются калибровки на семь и реже на четыре калибра. Седьмой фасонный калибр бывает необходим при прокатке самых крупных профилей со слабым режимом деформации. Выполнение калибровок на четыре калибра допустимо для равнобоких уголков малых размеров от № 2 до № 4 при задаче квадратной или ромбической заготовки на диагональ, а также для некоторых зетообразных профилей с относительно невысокой стенкой и пологими полками. Диагональная задача в развернутой угловой калибр заготовки крупного сечения не практикуется вследствие затруднений, возникающих с удержанием заготовки на

ребро, ухудшением захвата металла валками и заметного снижения при этом коэффициента вытяжки.

Особенность прокатки угловых, зетовых и корытных профилей в развернутых калибрах состоит в том, что заданный к получению профиль образуется постепенной деформацией заготовки по толщине с одновременным поперечным (желобчатым) изгибом элементов профиля при переходе из калибра в калибр. Таким путем обеспечивается формирование в конечном сечении требуемого угла между полками равнобокого и неравнобокого угольника или между полками и стенкой зетовых и швеллерных профилей и получение острого ребра на стыке полок или полка и стенки. Угол α , образуемый полкой с горизонталью (рис. 10) является важным параметром развернутого калибра и называется углом закрытия полка.

В существующих калибровках угольников встречаются разнообразные углы закрытия полка по калибрам. При задаче

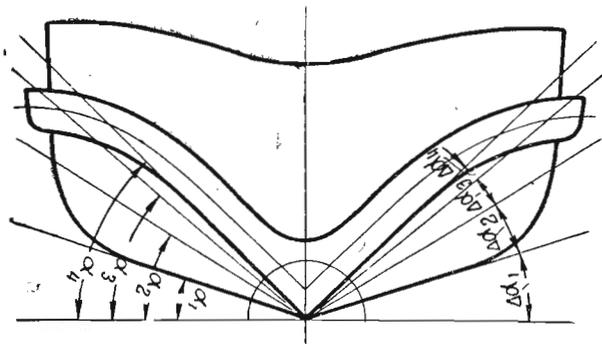


Рис. 10. Углы закрытия полка развернутых калибров.

прямоугольной заготовки плашмя углы закрытия в первом развернутом калибре колеблются от 17 до 30° и постепенно увеличиваются от калибра к калибру по ходу прокатки, следуя какому-либо правилу или без особой системы. При задаче квадратной или ромбической заготовки в развернутый равнобокий угловой калибр на диагональ (рис. 11 и 11а) углы закрытия в первом калибре составляют $35 \div 45^\circ$.

Исследования проф. М. В. Врацкого по расходу энергии при прокатке уголков [8] указывают на повышение расхода энергии и константы p' при деформации углового профиля с изгибом. И если при прокатке заготовки в подготовительных и предотделочных развернутых угловых калибрах с постоянным углом закрытия полка константа составляла $15,3 \text{ кг/мм}^2$, то при прокатке в калибрах с нарастающим от калибра к калибру на

$5 \div 20^\circ$ углом закрытия константа увеличивалась до 28 кг/мм^2 , хотя конечно отклонения в ту или другую сторону на $1-2^\circ$ существенного влияния на энергетические и силовые факторы

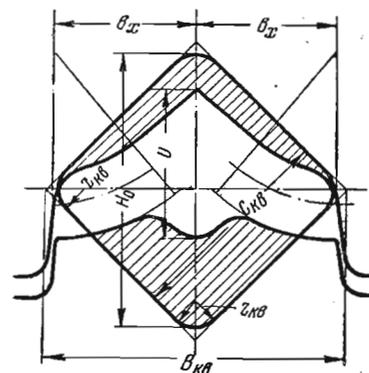


Рис. 11. Задача квадратной заготовки в развернутый равнобокий угловой калибр на диагональ.

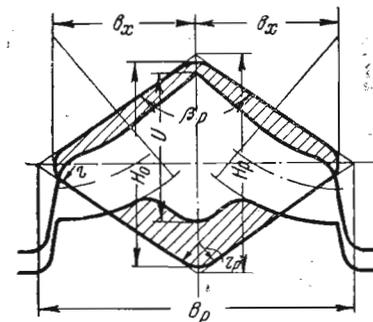


Рис. 11а. Задача ромбической заготовки в развернутый равнобокий угловой калибр на диагональ.

прокатки оказывать не могут. Вообще же деформация металла в калибрах с изгибом или выпрямлением элементов профиля, как следует из указанного уже исследования Врацкого, а также из опытов проф. А. П. Чекмарева по расходу энергии при прокатке угольников [9], вызывает повышение расхода энергии и константы.

В целях сокращения расхода энергии при прокатке следует наибольшее формоизменение и изгиб заготовки предусматривать в первом развернутом калибре, когда и температура металла выше и толщина элементов наибольшая, а удельное давление наименьшее, оставляя для других калибров деформацию элементов профиля главным образом по толщине. Однако слишком большие углы закрытия полка в первом развернутом калибре, как будет показано ниже, заметно ухудшают захват металла валками. Поэтому приходится деформацию изгиба распределять оптимально по всем, хотя бы подготовительным, развернутым калибрам.

Максимальный угол закрытия для данной серии равнобоких, неравнобоких и зетовых калибров определяется положением по отношению к горизонтали полка чистового калибра, а для системы развернутых швеллерных калибров — положением последнего по ходу прокатки развернутого калибра; обозначим этот угол через $\alpha_{\text{макс}}$.

В некоторых заводских калибровках угольников максимальный угол закрытия $\alpha_{\text{макс}}$ достигается только к чистовому калибру. Чаше же этот угол образуется к предчистовому калибру и встречаются калибровки, в которых требуемый максимальный угол закрытия достигается уже в последнем подготовительном калибре.

Разработкой методики распределения деформации изгиба по угловым калибрам занимались наши ученые — Павлов [13], Виноградов [14], Чекмарев [15], а также зарубежные калибровщики.

Наиболее правильный принцип распределения деформации изгиба в развернутых калибрах по нашему мнению был высказан действ. чл. АН УССР А. П. Чекмаревым, а именно: приращение углов закрытия от калибра к калибру пропорционировать абсолютным обжатиям.

Следуя этому принципу и предусматривая завершение деформации изгиба в первых четырех развернутых калибрах, представим по ходу прокатки абсолютное обжатие за пропуск через коэффициенты обжатия:

$$\begin{aligned} \text{для первого калибра} & \dots \Delta h_1 = (\lambda_1 - 1) \frac{H_0}{\lambda_1} \\ \text{» второго »} & \dots \Delta h_2 = (\lambda_2 - 1) \frac{H_0}{\lambda_1 \lambda_2} \\ \text{» третьего »} & \dots \Delta h_3 = (\lambda_3 - 1) \frac{H_0}{\lambda_1 \lambda_2 \lambda_3} \\ \text{» четвертого »} & \dots \Delta h_4 = (\lambda_4 - 1) \frac{H_0}{\lambda_1 \lambda_2 \lambda_3 \lambda_4} \end{aligned}$$

И для рекомендуемого нами режима деформации, когда

$$\lambda_1 = \lambda_2 = \lambda_3 = \lambda_4 = \lambda,$$

получим суммарное обжатие

$$\sum_1^4 \Delta h = H_0 (\lambda - 1) \left(\frac{1}{\lambda} + \frac{1}{\lambda^2} + \frac{1}{\lambda^3} + \frac{1}{\lambda^4} \right). \quad (1.71)$$

Или в другом виде

$$\sum_1^4 \Delta h = H_0 C_\lambda (\lambda - 1), \quad (1.72)$$

где

$$C_\lambda = \frac{1}{\lambda} + \frac{1}{\lambda^2} + \frac{1}{\lambda^3} + \frac{1}{\lambda^4}. \quad (1.73)$$

Далее можем представить коэффициент пропорциональности $\frac{\alpha_{\text{макс}}}{H_0 C_\lambda (\lambda - 1)}$ и приращение углов закрытия:

$$\left. \begin{aligned} \text{в первом калибре} & \dots \Delta \alpha_1 = \frac{\alpha_{\text{макс}}}{C_\lambda \lambda} \\ \text{во втором »} & \dots \Delta \alpha_2 = \frac{\alpha_{\text{макс}}}{C_\lambda \lambda^2} \\ \text{в третьем »} & \dots \Delta \alpha_3 = \frac{\alpha_{\text{макс}}}{C_\lambda \lambda^3} \\ \text{» четвертом »} & \dots \Delta \alpha_4 = \frac{\alpha_{\text{макс}}}{C_\lambda \lambda^4} \end{aligned} \right\} (1.74)$$

При этом

$$\sum_1^4 \Delta \alpha = \alpha_{\text{макс}}.$$

Соответственно углы закрытия полок:

$$\left. \begin{aligned} \text{первого калибра} & \dots \alpha_1 = \Delta \alpha_1 \\ \text{второго »} & \dots \alpha_2 = \alpha_1 + \Delta \alpha_2 \\ \text{третьего »} & \dots \alpha_3 = \alpha_2 + \Delta \alpha_3 \\ \text{четвертого »} & \dots \alpha_4 = \alpha_3 + \Delta \alpha_4 \end{aligned} \right\} (1.75)$$

При этом

$$\alpha_4 = \alpha_{\text{макс}}.$$

Приращение углов закрытия (1.74) и углы закрытия, определяемые по формулам (1.75) будут несколько колебаться в зависимости от режима деформации и выбранных в подготовительных калибрах коэффициентов обжатия. Однако эти колебания столь невелики (в пределах одного-двух градусов), что вполне допустимо деформацию изгиба рассчитывать на некоторый нормальный режим высотной деформации.

Так, если принять за нормальный режим высотной деформации в подготовительных калибрах, определяемый коэффициентом обжатия $\lambda = 1,60$, то из равенства (1.73)

$$C_\lambda = 1,412$$

и при $\alpha_{\text{макс}} = 45^\circ$ установим приращение углов закрытия по калибрам (1.74) и углы закрытия с округлением до целого числа градусов (1.75):

$$\left. \begin{aligned} \text{в первом калибре} & \dots \alpha_1 = 20^\circ \\ \text{во втором »} & \dots \alpha_2 = 32^\circ \\ \text{в третьем »} & \dots \alpha_3 = 40^\circ \\ \text{» четвертом »} & \dots \alpha_4 = 45^\circ \end{aligned} \right\}$$

Таблица 1
Углы закрытия полок и постоянные коэффициенты угловых, зетовых и швеллерных развернутых калибров при $\alpha_{\max} = 45^\circ$

№ калибра по ходу прокатки	α°	α радианы	$\operatorname{tg} \alpha$	$\sin \alpha$	$\cos \alpha$	$\operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}$	$\sin \frac{\alpha}{2}$	$\sin 2\alpha$	Для равнобоких и неравнобоких угловых, зетовых, и швеллерных калибров при $\pi = 0,5b$			Для зетовых и зетообразных калибров при $\pi = \frac{b}{3}$		
									$C_{\text{ш}}$	$C_{\text{в}}$	$C_{\text{н}}$	$C_{\text{ш}}$	$C_{\text{в}}$	$C_{\text{н}}$
1	20	0,349	0,364	0,342	0,940	0,176	0,174	0,643	0,960	0,258	0,303	0,967	0,229	0,141
2	32	0,558	0,625	0,530	0,848	0,287	0,276	0,899	0,899	0,402	0,451	0,916	0,359	0,214
3	40	0,698	0,839	0,643	0,766	0,364	0,342	0,985	0,844	0,489	0,525	0,870	0,438	0,253
4	45	0,785	1,000	0,707	0,707	0,414	0,383	1,000	0,804	0,540	0,558	0,836	0,484	0,272

Таблица 2
Углы закрытия полок и постоянные коэффициенты зетовых развернутых калибров при $\alpha_{\max} = 30^\circ$ и $\pi = \frac{b}{3}$

№ калибра по ходу прокатки	α°	α радианы	$\operatorname{tg} \alpha$	$\sin \alpha$	$\cos \alpha$	$\operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}$	$\sin \frac{\alpha}{2}$	$\sin 2\alpha$	$C_{\text{ш}}$	$C_{\text{в}}$	$C_{\text{н}}$
2	22	0,384	0,404	0,375	0,927	0,194	0,191	0,695	0,960	0,252	0,155
3	27	0,471	0,510	0,454	0,891	0,240	0,233	0,809	0,941	0,305	0,186
4	30	0,523	0,577	0,500	0,866	0,268	0,259	0,866	0,927	0,338	0,204

Таблица 3

Углы закрытия полок и постоянные коэффициенты зетовых развернутых калибров при $\alpha_{\max} = 20^\circ$ и $\pi = \frac{b}{3}$

№ калибра по ходу прокатки	α°	α радианы	$\operatorname{tg} \alpha$	$\sin \alpha$	$\cos \alpha$	$\operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}$	$\sin \frac{\alpha}{2}$	$\sin 2\alpha$	$C_{\text{ш}}$	$C_{\text{в}}$	$C_{\text{н}}$
1	9	0,157	0,159	0,156	0,988	0,079	0,078	0,309	0,992	0,104	0,061
2	14	0,244	0,249	0,242	0,970	0,123	0,122	0,469	0,985	0,162	0,093
3	18	0,314	0,325	0,309	0,951	0,159	0,156	0,588	0,973	0,206	0,129
4	20	0,349	0,364	0,342	0,940	0,176	0,174	0,643	0,967	0,229	0,141

Таким же путем определены углы закрытия полок, возможные при калибровке неправильных зетовых и зетообразных профилей (табл. 1, 2 и 3), для случаев, когда $\alpha_{\max} = 30^\circ$ и $\alpha_{\max} = 20^\circ$.

Установленные таким образом углы закрытия можно рекомендовать принимать в первых четырех развернутых калибрах при прокатке равнобоких и неравнобоких угольников, правильных и неправильных зетов, а также зетообразных и швеллерных профилей, получаемых в пяти, шести и семи фасонных калибрах. Такое постоянство углов закрытия по развернутым калибрам не зависимо от общего количества фасонных калибров, типа и размера профиля в принципе не противоречит энергетическим и силовым факторам калибровки и условиям захвата металла валками, но несомненно создает, как всякая нормализация и стандартизация, значительные удобства при выполнении калибровочных расчетов.

6. Аналитическое определение нейтральной линии фасонных калибров

Положение калибра в валках определяется нейтральной линией (рис. 12) калибра по отношению к средней линии валков. Под средней линией валков понимают горизонталь, делящую расстояние между осями двух валков пополам и если обозначить через D — расстояние между осями валков и написать

$$D = R + R',$$

то из сказанного следует, что

$$R = R',$$

где D — номинальный диаметр, а R и R' — номинальный радиус верхнего и нижнего валка.

Под нейтральной линией калибра следует понимать такую горизонтальную линию калибра, которая, будучи совмещена со средней линией валков, обуславливает прямолинейный выход металла из валков без стремления прокатываемой полосы загибаться вверх или вниз.

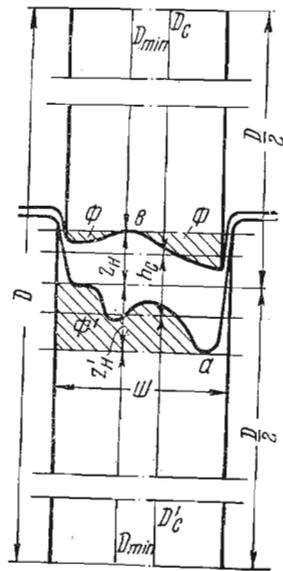


Рис. 12. Нейтральная линия калибра сложной формы.

Прямолинейность выхода металла из валков зависит от ряда факторов, точнее от их равенства или идентичности (сходности) по обоим валкам, образующим калибр и прежде всего от равенства средних окружных скоростей по ручьям верхнего и нижнего валков, от равенства коэффициентов трения металла о валки и, следовательно, от идентичности состояния поверхности обоих валков и прокатываемого металла, от равномерности высотной деформации полосы и, следовательно, от однородности прокатываемого металла, равномерности нагрева металла, от идентичности конфигурации калибра и задаваемого в калибр сечения.

Таким образом положение нейтральной линии зависит не только от калибровочных, но и от технологических факторов и трудность определения истинного положения нейтральной линии даже калибра простой формы и тем более сложной, очевидна.

Распространенный прием определения нейтральной линии, как горизонтали, проходящей через центр тяжести калибра, хотя и является простым, но ни в какой мере не соответствует истинному смыслу понятия нейтральной линии.

Если исключить из рассмотрения технологические факторы, стремление к равенству и идентичности которых обуславливается не только соображениями калибровочного характера и в той или иной степени обеспечивается состоянием основного оборудования и печного хозяйства прокатной установки, налаженностью технологического процесса и квалификацией обслуживающего персонала, то для преобладающего большинства фасонных профилей, для которых сходность форм калибра и задаваемого сечения несомненна, наиболее правильным принципом определения нейтральной линии калибра является соблюдение равенства средних окружных скоростей по ручьям верхнего и нижнего валков, образующих калибр.

Выражая номинальные радиусы валков через средние катающие диаметры по верхнему и нижнему ручью и через среднюю высоту калибра как

$$R = 0,5 (D_c + h_c) \quad (1.76)$$

и

$$R' = 0,5 (D'_c + h_c), \quad (1.77)$$

а средние катающие диаметры через минимальные диаметры валков, соответствующие наивысшей точке верхнего ручья и наинизшей точке нижнего ручья как

$$D_c = D_{\min} + \frac{2\Phi}{\pi} \quad (1.78)$$

и

$$D'_c = D'_{\min} + \frac{2\Phi'}{\pi}, \quad (1.79)$$

и имея в виду, что средняя высота калибра (1.25)

$$h_c = \frac{q}{\pi},$$

из равенств (1.76) и (1.78) получим по верхнему валку:

$$R = 0,5 \left(D_{\min} + \frac{2\Phi + q}{\pi} \right) \quad (1.80)$$

и из равенства (1.77) и (1.79) по нижнему валку:

$$R' = 0,5 \left(D'_{\min} + \frac{\Phi' + q}{\pi} \right). \quad (1.81)$$

Отсюда следует, что если наивысшую точку верхнего ручья и наинизшую точку нижнего ручья принять за верхнюю и нижнюю базу, то из формулы (1.80)

$$Z_H = \frac{\Phi + 0,5q}{\pi} \quad (1.82)$$

является ординатой нейтральной линии калибра от верхней базы; и точно так же из формулы (1.81)

$$Z_H' = \frac{\Phi' + 0,5q}{\pi} \quad (1.83)$$

является ординатой нейтральной линии калибра от нижней базы, где Φ и Φ' — внешняя вспомогательная (контурная) площадь, заключенная между контуром верхнего и соответственно нижнего ручья с одной стороны, и горизонталями, проходящими через верхнюю и соответственно нижнюю базисные точки ручьев, с другой.

Формулой (1.82) или (1.83) в общем виде определяется положение нейтральной линии калибра любой конфигурации при

идентичности форм калибра и задаваемого в калибр сечения, при этом во многих случаях, как это будет показано ниже, вспомогательная площадь Φ или Φ' , а также площадь калибра q , могут быть с достаточной степенью точности определены аналитически, а, в более сложных случаях — путем планиметрирования. Использование формулы (1.82) или (1.83) законно в одинаковой степени и выбор при решении конкретной задачи зависит от удобства и простоты определения Φ или Φ' .

ГЛАВА ВТОРАЯ

КАЛИБРОВКА РАВНОБОКИХ УГОЛЬНИКОВ

Равнобокие уголки относятся к массовым фасонным профилям, получаемым путем горячей прокатки, и характеризуются номером, образованным от ширины полки в сантиметрах. Общесоюзным Стандартом (ОСТ 10014—39) предусмотрена прокатка равнобоких угольников от № 2 до № 23 с полками шириной от 20 до 230 мм и толщиной от 3 до 30 мм. Стандартом предусматривается прокатка от двух до пяти размеров уголков каждого номера, отличающихся только толщиной полок, с градацией по толщине нормально 1 и 2 мм и в редких случаях 4 и даже 6 мм.

Как уже было указано, прокаткой в пяти и шести фасонных угловых калибрах, а при диагональной задаче квадратной или ромбической заготовки, как, например, по калибровке К. П. Заборского на Гурьевском металлургическом заводе, даже в четырех калибрах, вполне обеспечивается выполнение внешней вершины угла профиля на стыке полок. Шесть калибров можно рекомендовать при прокатке тяжелых для данного стана уголков, особенно из сталей повышенной твердости; пять калибров — при энергичном режиме деформации, особенно из малоуглеродистых марок стали. Четыре угловых калибра бывает достаточно при прокатке малых номеров легких для данного стана уголков и энергичном режиме деформации при задаче квадратной или ромбической заготовки в первый подготовительный угловой калибр на диагональ.

По условиям прочности валков и условиям захвата металла валками оптимальное соотношение между шириной полок равнобоких уголков и номинальным диаметром валков стана, выработанное практикой [16, 17], приведено в табл. 4.

В реальных условиях выполнения рабочей калибровки всегда известна полная характеристика стана, на котором намечается прокатка калибруемого профиля и прежде всего номинальный диаметр рабочих валков по клетям D и диаметр шеек d , длина бочки l_6 и длина шеек валков $l_{ш}$, материал валков, конструкция и материал подшипников, тип, количество и расположение

Таблица 4

Соотношение между номинальным диаметром валков стана и основными размерами катаемых на стане угольников и швеллеров

№ по пор.	Характеристика прокатного стана	Прокатываемые профили					
		равнобокие угольники		неравнобокие угольники		швеллеры	
		от №	до №	от №	до №	от №	до №
1	Современные рельсобалочные станы трио 750—800	18	23	18/12	20/12	20	40
2	Станы трио 700—750	12	15	12/8	15/10	16	30
3	Рельсобалочные станы дуо реверсивные 800—850	15	23	15/10	20/15	20	40
4	Рельсобалочные станы дуо реверсивные 700—750	12	15	12/8	15/10	16	30
5	Зигзагообразные станы 600	12	15	12/8	15/10	16	30
6	Линейные станы трио 600—650	9	13	10/7,5	15/10	14	20
7	Зигзагообразные станы 500	7,5	15	9/6	15/10	12	25
8	Линейные станы трио 500—550	6	10	7,5/5	10/7,5	10	14
9	Зигзагообразные станы 450	7,5	12	7,5/5	12/8	10	16
10	Линейные станы трио 450	5	7,5	6/4	7,5/5	10	12
11	Линейные станы трио 400	4,5	6	6/4	7,5/5	6,5	8
12	Полунепрерывные (зигзагообразные и шахматные) станы 350	5	9	6/4	9/6	8	10
13	Линейные станы трио 350	4	5	4,5/3	6/4	5	6,5
14	Шахматные станы 300	4,5	7,5	4,5/3	7,5/5	5	6,5
15	Линейные станы 300	3	4,5	3,5/2	4,5/3	—	—
16	Полунепрерывные станы 250	3	4	3/2	4,5/3	—	—
17	Линейные станы 250	2	3	3/2	3,5/2	—	—

Примечание. Номинальный диаметр валков стана для прокатки правильных и неправильных зетов и зетообразных профилей приближенно устанавливается из условия равенства суммарной ширины полок и ножки зетового профиля ширине двух полок равнобоких угольников.

рабочих клеток, подъемно-транспортное оборудование стана, устройство и расположение манипуляторов и кантователей, конструкция, размеры и пропускная способность нагревательных печей, технологический маршрут процесса прокатки и температурный режим прокатки. Известны также тип электромоторов или других двигателей привода стана, номинальная мощность и номинальное число оборотов мотора, способ и пределы регулировки числа оборотов, скоростной режим работы стана. И, наконец, безусловно известны марки прокатываемых сталей, технические условия на приемку — сдачу металла, нормируемые Общесоюзным Стандартом или специальным соглашением поставщика и потребителя прокатной продукции.

I. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЗМЕРОВ И ПОСТРОЕНИЕ РАВНОБОКИХ УГЛОВЫХ КАЛИБРОВ

7. Чистовой равнобокий калибр и задаваемое в него сечение

По условиям калибровщику заданы основные размеры равнобокого угольника в холодном состоянии в миллиметрах (рис. 13):

- b' — ширина полки;
- $v_{ш}$ — допускаемые отклонения в размерах по ширине полок;
- $h'_I, h'_{II} \dots h'_n$ — толщина полок угольников одного и того же номера;
- v_T — допускаемые отклонения в размерах по толщине полок;
- r' и r'_K — радиусы закругления на стыке и по краям полок;
- $q'_I, q'_{II} \dots q'_n$ — площади поперечного сечения уголков, мм².

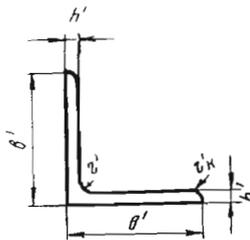


Рис. 13. Равнобокий угольник, заданный к получению

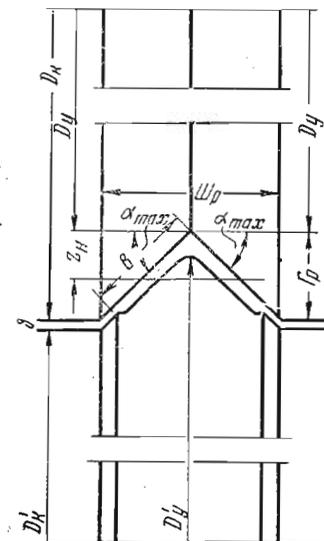


Рис. 14. Чистовой равнобокий угловой калибр.

По этим размерам должны быть получены размеры профиля в нагретом состоянии, а значит и основные размеры чистового калибра (рис. 14), с учетом по ширине и толщине полок допусков на минус.

Таким образом, ширина полок чистового угольника:

$$b = \lambda_t (b' - v_{ш}); \quad (2.1)$$

толщина полок:

$$h = \lambda_t (h' - v_T); \quad (2.2)$$

радиус закругления на стыке полок:

$$r = \lambda_t r'; \quad (2.3)$$

и радиус закругления по краям полок:

$$r_K = \lambda_t r'_K, \quad (2.4)$$

где $\lambda_t = 1,012 \div 1,013$ — коэффициент линейной усадки металла при охлаждении от температуры конца прокатки до нормальной температуры.

Площадь равнобокого чистового угольника с достаточной для дальнейших расчетов степенью точности может быть определена без учета закруглений:

$$q = 2h(b - 0,5h). \quad (2.5)$$

Чистовой равнобокий угловой калибр располагается в валках симметрично относительно вертикали (рис. 14) и каждая полка образует с горизонталью угол закрытия $\alpha_{\text{макс}} = 45^\circ$.

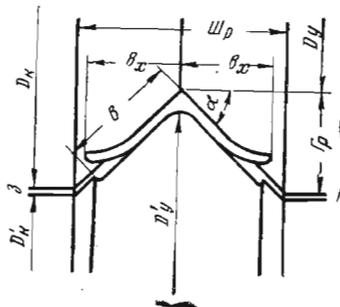


Рис. 15 Задача предчистового развернутого равнобокого углового раската в чистовой калибр

Для нормальной задачи раската в калибр ширина матричного ручья чистового равнобокого углового калибра (рис. 15) должна быть примерно на 10% больше ширины задаваемого в него сечения, иначе говоря, должно быть:

$$\text{Ш}_p \approx 1,1 \cdot 2b_x,$$

где b_x — горизонтальная проекция полки предчистового профиля.

Если учесть рассмотренное в дальнейшем соотношение элементов предчистового развернутого равно-

бокого углового калибра, то этому требованию удовлетворяет также и равенство:

$$\text{Ш}_p = 1,2 \cdot 2b \cos \alpha_{\text{макс}}.$$

При $\alpha_{\text{макс}} = 45^\circ$, получим:

$$\text{Ш}_p = 1,7b. \quad (2.6)$$

Глубина (высота) матричного ручья будет равна половине ширины ручья:

$$\Gamma_p = 0,85b. \quad (2.7)$$

Нашедшая у нас распространение прокатка уголков в чистовом калибре со свободным уширением полок допускает использование одного чистового калибра для получения всех угольников одного и того же номера и даже двух смежных номеров путем установки валков по высоте калибра на требуемую толщину полок.

Благодаря малой градации в толщине полок, составляющей нормально 1 и 2 мм, каждый предчистовой калибр используется

за счет регулировки валков для получения двух смежных по толщине полок угольников.

Подготовительные калибры сохраняются общими для всех размеров угольников данного номера.

Как видно, для выполнения калибровки, обеспечивающей получение всех заданных размеров уголков с наименьшим числом фасонных калибров и малым парком валков, требуется прежде всего установить номинальную расчетную толщину полки, в качестве которой может быть принята средняя геометрическая

$$h = \sqrt[n]{h_I h_{II} \dots h_n}, \quad (2.8)$$

или мало отличающаяся от нее, средняя арифметическая толщина

$$h = \frac{h_I + h_{II} + \dots + h_n}{n} \quad (2.9)$$

из всех заданных к получению угольников.

По номинальной расчетной толщине полок и выбранному коэффициенту обжатия в чистовом калибре определяются толщина полок раската до пропуска:

$$H = \lambda h \quad (2.10)$$

и обжатие полок за пропуск:

$$\Delta h = H - h. \quad (2.11)$$

Лабораторные исследования прокатки свинца в угловых калибрах, а также в производственных условиях прокатки стали [12], показывают, что возможное уширение каждой полки углового профиля достаточно точно может быть определено по Бахтинову [18] через среднее обжатие за пропуск Δh_c , среднюю толщину раската до пропуска H_c и средний катающий радиус валков по калибру R_c :

$$Z = C_2 \sqrt{\frac{R_c \Delta h_c^3}{H_c^2}}, \quad (2.12)$$

где коэффициент C_2 , колеблющийся нормально в пределах от 0,30 до 0,49, выбирается в зависимости от отношения $\frac{\alpha_3}{f}$ (табл. 5 и рис. 16).

Средний катающий радиус валков по калибру, необходимый при определении уширения полок, можно найти как уже было указано (1.26)

$$R_c = 0,5(D - h_c)$$

Таблица 5

Коэффициенты уширения в зависимости от отношения угла захвата к коэффициенту трения (по Бахтинову)

$\frac{\alpha_3}{f}$	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
C_z	0,500	0,485	0,470	0,452	0,432	0,421	0,387	0,362	0,347	0,309	0,281

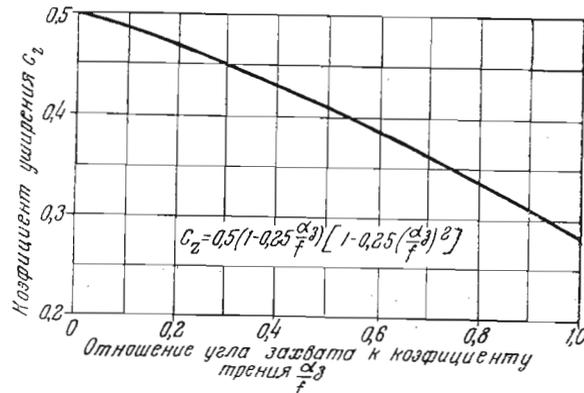


Рис. 16. Коэффициент уширения (по Бахтинову).

и угол захвата по среднему обжатию в радианах:

$$\alpha_c = \sqrt{\frac{\Delta h_c}{R_c}} \quad (2.13)$$

При установленном температурном режиме прокатки коэффициент трения металла о валки определяется по Эжелунду (1.38) и (1.39) или по Голубеву (1.31).

Далее могут быть установлены:

ширина спрямленной полки задаваемого в чистовой калибр углового раската:

$$B = b - Z; \quad (2.14)$$

площадь поперечного сечения раската:

$$Q = 2H(B - 0,5H) \quad (2.15)$$

и коэффициент вытяжки за пропуск:

$$\mu = \frac{Q}{q}, \quad (2.16)$$

где Q и q — площадь поперечного сечения раската до и после пропуска.

8. Развернутые равнобокие угловые калибры

Предчистовой и подготовительные равнобокие угловые калибры в настоящее время повсюду выполняются развернутыми, чаще всего с сохранением прямого участка полки (рис. 17) и значительно реже — развернутыми полностью.

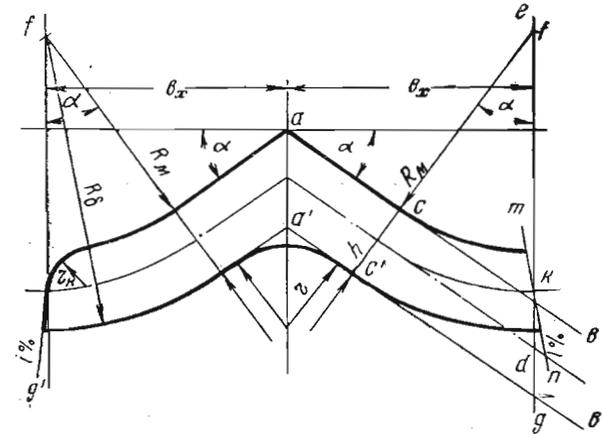


Рис. 17. Развернутый равнобокий угловой калибр

Распространение развернутых калибров объясняется их бесспорными преимуществами перед ранее употреблявшимися прямыми калибрами. К этим преимуществам прежде всего относятся:

1) обжатие полок давлением, близким к прямому, и благодаря этому интенсификация процесса деформации металла при прокатке;

2) меньший врез ручьев в валки и повышение прочности валков;

3) меньшая разность окружных скоростей в различных точках ручьев и повышенная, в связи с этим, стойкость валков на истирание;

4) простота замков закрытых калибров.

На основании анализа формы калибров хорошо работающих калибровок, а также литературных данных при построении развернутых равнобоких угловых калибров можно рекомендовать два основных положения:

1. Сохранять у основания полки прямой участок (рис. 17), составляющий половину ширины полки по внешней грани:

$$t = 0,5b. \quad (2.17)$$

2. Развернутый участок полки, сопряженной с прямым и составляющий половину ширины полки, образовывать как дугу с постоянным радиусом кривизны

$$R_M = \frac{0,5b}{\alpha}, \quad (2.18)$$

центр которой находится на пограничной вертикали ручья fg .

Ширина полки предчистового развернутого углового профиля (рис. 18) устанавливается исходя из того простого и очевидного факта, что при пластическом выгибании развернутого участка полки в чистовом калибре волокна при неизменном состоянии по нейтральной (средней) линии полки должны, сжимаясь, сокращаться по внутренней грани и, растягиваясь, удлиняться по внешней грани на

$$\Delta S = S_c - S_{вн}.$$

Так как по нейтральной линии развернутого участка профиля ширина полки

$$S_c = (R_M + 0,5h)\alpha,$$

а по внешней грани

$$S_{вн} = R_M\alpha,$$

то

$$\Delta S = 0,5h\alpha.$$

Следовательно, полная ширина полки предчистового профиля (и калибра) в развернутом состоянии будет:

$$b = B - 0,5h\alpha. \quad (2.19)$$

Горизонтальная и вертикальная проекция полки развернутого углового калибра определится в зависимости от ширины и угла закрытия полки, при этом горизонтальная проекция:

$$b_x = 0,5b \cos \alpha + R_M \sin \alpha.$$

Так как радиус кривизны (2.18)

$$R_M = \frac{0,5b}{\alpha},$$

то

$$b_x = 0,5b \left(\cos \alpha + \frac{\sin \alpha}{\alpha} \right). \quad (2.20)$$

Обозначая постоянную для данного калибра через

$$C_{ш} = 0,5 \left(\cos \alpha + \frac{\sin \alpha}{\alpha} \right), \quad (2.21)$$

которую назовем коэффициентом ширины калибра, напишем:

$$b_x = C_{ш}b. \quad (2.22)$$

Ширина развернутого равнобокого углового калибра:

$$Ш = 2C_{ш}b \quad (2.22a)$$

Вертикальная проекция внешней грани полки:

$$b_y = 0,5b \sin \alpha + R_M (1 - \cos \alpha).$$

Снова подставляя радиус кривизны (2.18) и заменяя $1 - \cos \alpha = 2 \sin^2 \frac{\alpha}{2}$, будем иметь:

$$b_y = 0,5b \left(\sin \alpha + \frac{2 \sin^2 \frac{\alpha}{2}}{\alpha} \right). \quad (2.23)$$

Обозначая вторую постоянную для данного развернутого углового калибра через

$$C_{н} = 0,5 \left(\sin \alpha + \frac{2 \sin^2 \frac{\alpha}{2}}{\alpha} \right), \quad (2.24)$$

которую назовем коэффициентом высоты калибра, напишем:

$$b_y = C_{н}b. \quad (2.25)$$

Значение постоянных коэффициентов калибра $C_{ш}$, $C_{н}$ и другие простые круговые функции угла закрытия полок, природа и назначение которых будут выяснены ниже, приводятся в табл. 1.

Площадь развернутого равнобокого углового калибра с достаточной для дальнейших расчетов степенью точности может быть определена без учета закруглений так:

$$q = h [2b - h(\operatorname{tg} \alpha - \alpha)]. \quad (2.26)$$

Заканчивая рассмотрение параметров, относящихся к предчистовому или любому подготовительному развернутому угловому калибру, определим:

1) бóльший радиус кривизны изогнутого участка полок:

$$R_0 = R_M + h; \quad (2.27)$$

2) радиус закругления на стыке полок изнутри — по предчистовому калибру:

$$r_2 = \lambda_1 r_1 \quad (2.28)$$

и по подготовительным калибрам по норме:

$$r \approx h; \quad (2.29)$$

3) радиус закругления по краям полок на дне матричных ручьев —

со стороны наружных граней полок по норме:

$$r_{\text{н}} \approx (0,5 \div 0,9) h \quad (2.30)$$

и со стороны внутренних граней полок по норме:

$$r_{\text{в}} \approx (0,3 \div 0,5) h; \quad (2.31)$$

4) радиус закругления по внешней вершине угла на стыке полок первого по ходу прокатки подготовительного калибра (рис. 19), выполняемого иногда в целях повышения прочности валков, по норме:

$$r_{\text{вн}} \approx 0,5 h; \quad (2.32)$$

5) выпуск калибров по норме:

$$i = 0,05 \div 0,10, \quad (2.33)$$

снижаемый обычно от калибра к калибру по ходу прокатки.

В целях облегчения задачи раската в развернутый угловой калибр и повышения стойкости реборд ручьев на истирание ширина задаваемого в калибр профиля должна быть меньше ширины калибра, иначе говоря, каждый последующий по ходу

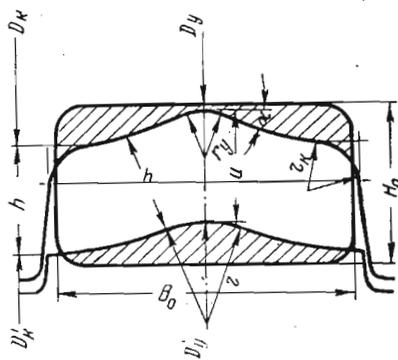


Рис. 19. Первый подготовительный равнобокий угловой калибр с закругленной внешней вершиной угла

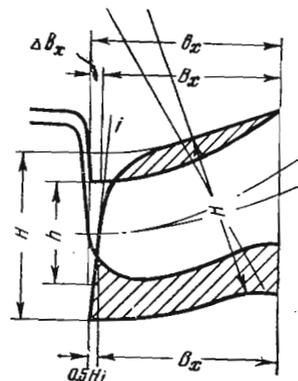


Рис. 20. Приращение ширины полки развернутого калибра

прокатки калибр должен быть шире предыдущего. Если обозначить приращение ширины калибра по каждой полке (рис. 20) через Δb_x , то, очевидно, должно быть:

$$\Delta b_x \leq 0,5 H i \quad (2.34)$$

и рассчитывая на большее значение выпуска $i = 0,10$, можем написать:

$$\Delta b_x \approx 0,05 H. \quad (2.35)$$

Таким образом, по каждому последующему развернутому калибру горизонтальная проекция полки может быть определена по горизонтальной проекции полки предыдущего по ходу расчета развернутого калибра, начиная от предчистового, или, что то же самое, может быть определена горизонтальная проекция полки задаваемого в калибр развернутого профиля,

$$B_x = b_x - \Delta b_x. \quad (2.36)$$

Ширина полки задаваемого профиля определится из установленной ранее зависимости (2.22) между горизонтальной проекцией, шириной и углом закрытия полки; при этом:

$$B = \frac{B_x}{C_{\text{ш}}}. \quad (2.37)$$

Заполнение калибра металлом обеспечивается при условии, что приращение ширины полки за пропуск

$$\Delta b = b - B, \quad (2.38)$$

которое можно назвать фактическим уширением, допускаемым размерами и конструкцией калибра, не больше возможного естественного уширения, определяемого по Бахтинову (2.12) или иным путем, то есть, что:

$$\frac{\Delta b}{Z} \geq 1. \quad (2.39)$$

Здесь уместно отметить, что среди части ученых — прокатчиков по вопросам калибровки существует переоценка значения степени точности определения возможного естественного уширения при прокатке и неправильная установка принимать в расчет естественное уширение таким, как оно есть. В действительности калибровщики легко подчиняют уширение своим требованиям, ограничивая его в любой степени, чуть ли не до нуля, и в редких случаях искусственно и довольно значительно повышая, как например, в тавровых, ныне отживающих, рельсовых калибрах, или в двутавровых черновых калибрах, используемых для получения двух смежных номеров балок.

В преобладающем большинстве случаев уширение относится к явлениям вредным, снижающим степень вытяжки, повышающим расход энергии при прокатке, способствующим возникновению по кромкам раската растягивающих напряжений и образованию рванин и трещин. Поэтому калибровщики всюду, где только возможно, особенно в закрытых калибрах, ограничивают уширение и таким путем добиваются лучшей проработки кро-

мок раската, улучшения качества профиля, увеличения степени вытяжки по пропускам, предохраняя профиль от образования заусенцев за счет радиусов закругления по краям на дне матричных ручьев, чередуя разъем калибров то снизу, то сверху при прокатке раската без кантовки, или реже, оставляя разъем калибров сверху, кантуя при этом полосу.

Площадь развернутого равнобокого углового профиля, задаваемого в калибр, определится подобно площади развернутого калибра:

$$Q = H [2B - H (\operatorname{tg} \alpha - \alpha)], \quad (2.40)$$

а коэффициент вытяжки за пропуск, как отношение площадей раската до и после пропуска (2.16).

Рассмотрим далее порядок построения развернутых равнобоких угловых калибров.

На двух взаимно перпендикулярных линиях (см. рис. 17) из точки их пересечения a под углом α к горизонтали проводится (по тангенсу) линия ab и параллельная ей линия $a'b'$ на расстоянии h . Из точки a по внешней грани полки откладывается прямая участок полки ac , равной $0,5 b$ и на расстоянии b_x справа (и слева) от точки a проводится пограничная вертикаль калибра fg (и $f'g'$), на которой из точки c , как из центра, за-секается малым радиусом кривизны R_m точка f , являющаяся центром дуги развернутого участка полки. Точки c и c' — это точки сопряжения прямого участка полки с развернутым.

Через среднюю по толщине полки точку k проводится линия mk с уклоном i по отношению к вертикали с таким расчетом, чтобы по месту разъема калибра в ручье образовался выпуск, после чего на стыке и по краям полок выполняются закругления, как это показано на левой стороне рисунка.

В тех случаях, когда кантовка раската после каждого пропуска невозможна или затруднительна, а чаще просто нежела-тельна, разъем калибров следует чередовать то снизу, то сверху.

9. Форма и размеры заготовки при прокатке равнобоких угольников

Высота прямоугольной заготовки H_0 , задаваемой в первый подготовительный угловой калибр плашмя (рис. 21), определяется толщиной полки этого калибра и коэффициентом обжатия в нем (2.10) с последующей проверкой условий захвата металла валками.

Ширина заготовки B_0 определится в зависимости от ширины первого по ходу прокатки углового калибра:

$$B_0 \approx 2(b_x - 0,5 Z). \quad (2.41)$$

Площадь поперечного сечения прямоугольной заготовки:

$$Q_0 = H_0 B_0. \quad (2.42)$$

При диагональной задаче квадратной или ромбической заготовки в угловой калибр (см. рис. 11 и 11а) ширина заготовки по диагонали с учетом закруглений или притуплений по-

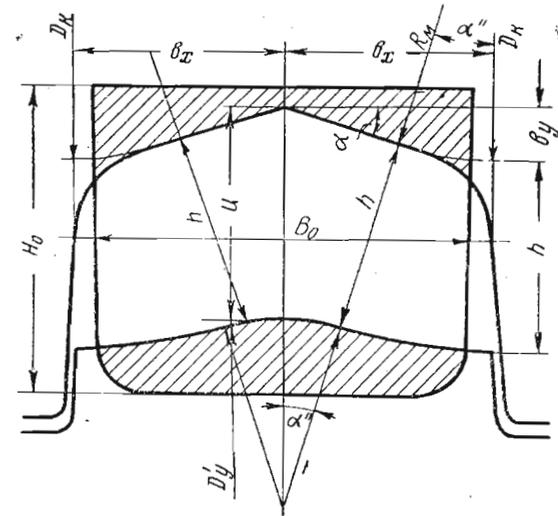


Рис. 21. Задача прямоугольной или квадратной заготовки в равнобокий угловой калибр плашмя

углом определится в зависимости от ширины углового калибра:

$$B_0 = 2 b_x. \quad (2.43)$$

Так как при нормальном заполнении ромбического калибра металлом по горизонтальной диагонали ромба имеется естественное притупление, равное на обе стороны

$$\approx 3 \operatorname{tg} \frac{\beta_p}{2},$$

то горизонтальная (большая) диагональ геометрически правильного ромбического калибра представится так:

$$B_p = 2 b_x + 3 \operatorname{tg} \frac{\beta_p}{2}, \quad (2.44)$$

где z — зазор между валками (2.62),

β_p — тупой угол ромба, значение которого, а также круговых функций этого угла приведено в табл. 6.

Таблица 6

Параметры ромбических заготовок диагонально задаваемых в равнобокий угловой калибр

β_p	C_p	$\text{ctg } \frac{\beta_p}{2}$
95°	0,210	0,916
100°	0,212	0,839
105°	0,214	0,767
110°	0,216	0,700

или, обозначая через

$$C_p = \frac{2 \left(1 - \sin \frac{\beta_p}{2} \right)}{\sin \frac{\beta_p}{2}}, \quad (2.47)$$

можем написать:

$$H_0 = H_p - C_p r_p. \quad (2.48)$$

Площадь поперечного сечения ромбической заготовки:

$$Q_0 \approx 0,5 H_p B_p. \quad (2.49)$$

Для квадратной заготовки, задаваемой диагонально в угловой калибр с кантовкой, притупления по углам определяются более точно с учетом радиусов закругления. В этом случае диагонали геометрически правильного квадратного диагонального калибра можно представить так:

$$B_{\text{КВ}} = 2b_x + 4r_{\text{КВ}} \frac{\sin^2 45^\circ}{\cos 45^\circ} \quad (2.50)$$

или

$$B_{\text{КВ}} = 2b_x + 0,83r_{\text{КВ}}. \quad (2.50)$$

Сторона квадратной заготовки:

$$C_{\text{КВ}} = 1,41b_x + 0,59r_{\text{КВ}}. \quad (2.51)$$

Площадь поперечного сечения квадратной заготовки:

$$Q_0 \approx C_{\text{КВ}}^2. \quad (2.52)$$

Вертикальная (меньшая) диагональ геометрически правильного ромбического калибра:

$$H_p = B_p \text{ctg } \frac{\beta_p}{2}. \quad (2.45)$$

Высота ромбической заготовки с учетом закруглений по углам:

$$H_0 = H_p - 2r_p \frac{1 - \sin \frac{\beta_p}{2}}{\sin \frac{\beta_p}{2}}, \quad (2.46)$$

II. МОНТАЖ РАВНОБОКИХ УГЛОВЫХ КАЛИБРОВ В ВАЛКАХ

10. Нейтральная линия равнобоких угловых калибров

По чистовому калибру с прямыми полками (рис. 14), если за базу ординаты нейтральной линии принята внешняя вершина угла калибра, вспомогательная площадь Φ формулы (1.82) определится так:

$$\Phi = b^2 \sin^2 \alpha_{\text{макс}} \cos \alpha_{\text{макс}}.$$

Площадь калибра (2.5):

$$q = 2h(b - 0,5h).$$

Средняя ширина калибра (по заполнению металлом):

$$ш = 2(b - 0,5h) \cos \alpha_{\text{макс}}. \quad (2.53)$$

Подставляя значение Φ , q и $ш$ в формулу (1.82), а также имея в виду, что $\alpha_{\text{макс}} = 45^\circ$, получим ординату нейтральной линии чистового равнобокого калибра с прямыми полками от верхней базы:

$$Z_{\text{н}} = \frac{0,5b^2 + h(b - 0,5h)}{1,41(b - 0,5h)}. \quad (2.54)$$

Применительно к рассмотренной форме развернутых равнобоких угловых калибров, если за базу ординаты нейтральной линии принята внешняя вершина угла калибра, вспомогательная площадь Φ формулы (1.82) определится как удвоенная сумма площадей (рис. 22) трапеции $abcd$ и полусегмента dce :

$$\Phi = 0,5b(b_x + R_M \sin \alpha) \sin \alpha + R_M^2 \left(\alpha - \frac{\sin 2\alpha}{2} \right).$$

Имея в виду, что из (2.18) и (2.20)

$$R_M = \frac{0,5b}{\alpha}$$

$$b_x = 0,5b \left(\cos \alpha + \frac{\sin \alpha}{\alpha} \right),$$

после подстановки и преобразования получим:

$$\Phi = 0,25b^2 \left[\left(\cos \alpha + \frac{2 \sin \alpha}{\alpha} \right) \sin \alpha + \frac{1}{\alpha^2} \left(\alpha - \frac{\sin 2\alpha}{2} \right) \right].$$

Так как площадь калибра (2.26)

$$q \approx 2bh$$

и ширина развернутого углового калибра (2.20)

$$ш = b \left(\cos \alpha + \frac{\sin \alpha}{\alpha} \right),$$

то после подстановки Φ , q и $ш$ в формулу (1.82) получим ординату нейтральной линии развернутого равнобокого углового калибра от верхней базы (рис. 23):

$$Z_H = \frac{0,25b \left[\left(\cos \alpha + \frac{2 \sin \alpha}{\alpha} \right) \cdot \sin \alpha + \frac{1}{\alpha^2} \left(\alpha - \frac{\sin 2\alpha}{2} \right) \right] + h}{\cos \alpha + \frac{\sin \alpha}{\alpha}}. \quad (2.55)$$

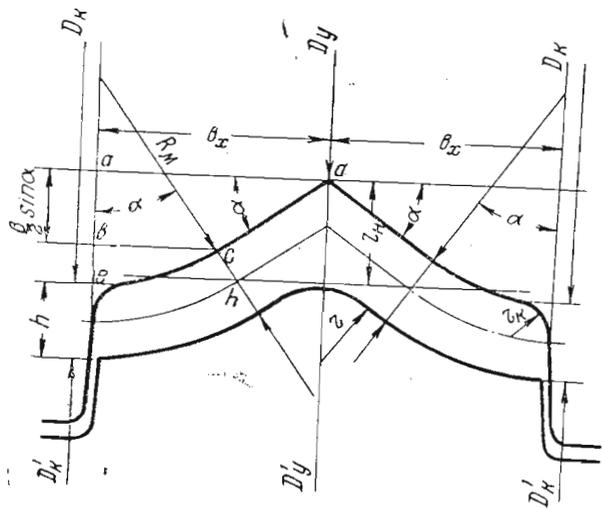


Рис. 22. Нейтральная линия развернутого равнобокого углового калибра

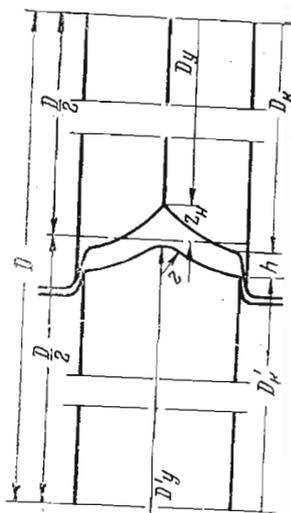


Рис. 23. Катающие диаметры валков по ручьям развернутого равнобокого углового калибра

Обозначая третью постоянную развернутого углового калибра через

$$C_H = 0,25 \left[\left(\cos \alpha + \frac{2 \sin \alpha}{\alpha} \right) \sin \alpha + \frac{1}{\alpha^2} \left(\alpha - \frac{\sin 2\alpha}{2} \right) \right], \quad (2.56)$$

которую назовем коэффициентом нейтральной линии, а также имея в виду, что (2.21)

$$\cos \alpha + \frac{\sin \alpha}{\alpha} = 2C_{ш},$$

окончательно можем написать:

$$Z_H = \frac{C_H b + h}{2C_{ш}}. \quad (2.57)$$

Значение коэффициентов нейтральной линии развернутых угловых калибров $C_H = \varphi(\alpha)$ приведено в табл. 1.

11. Катающие диаметры валков по калибрам

Положения равнобокого углового калибра в валках вполне определяется двумя диаметрами: посередине верхнего ручья D_y и посередине нижнего ручья D'_y . Однако во избежание перекоса калибров желательно знать еще и катающие диаметры валков по краям ручьев. Вследствие наличия закруглений по краям на дне матричных ручьев эти крайние диаметры теряются, зато в матричных ручьях крайние диаметры при расточке валков улавливаются мерительным инструментом.

Итак, совмещая нейтральную линию калибра с линией валков, определим катающие диаметры в основных точках ручьев, образующих равнобокие угловые калибры.

1. По чистовому калибру (рис. 14) катающий диаметр посередине верхнего (матричного) ручья:

$$D_y = D - 2Z_H \quad (2.58)$$

и посередине нижнего (патричного) ручья:

$$D'_y = 2 \left(D + r - \frac{h+r}{\cos 45^\circ} \right) - D_y. \quad (2.59)$$

Диаметр по краям верхнего ручья чистового калибра при глубине ручья (2.7).

$$D_p = 0,85b$$

может быть представлен так:

$$D_K = D_y + 1,7b. \quad (2.60)$$

Диаметр по краям нижнего ручья:

$$D'_K = 2(D - z) - D_K, \quad (2.61)$$

где z — зазор между валками, выбираемый по норме:

$$z \approx (0,008 + 0,010) D. \quad (2.62)$$

2. По развернутому угловому калибру (см. рис. 23) катающие диаметры верхнего ручья такие:

Посередине калибра без закругления внешней вершины угла:

$$D_y = D - 2Z_H. \quad (2.63)$$

Посредине калибра с закруглением внешней вершины угла (см. рис. 19):

$$D_y = D - 2 \left(Z_H - \frac{2r_{\text{вн}} \sin^2 \frac{\alpha}{2}}{\cos \alpha} \right), \quad (2.64)$$

и при $\alpha = 20^\circ$

$$D_y = D - 2 (Z_H - 0,065 r_{\text{вн}}). \quad (2.65)$$

По краям полков:

$$D_K = D_y + 2b_y \quad (2.66)$$

и после замены b_y из (2.25):

$$D_K = D + 2C_b b. \quad (2.67)$$

Катающие диаметры нижнего ручья:
Посредине калибра:

$$D'_y = 2 \left(D + r - \frac{h+r}{\cos \alpha''} \right) - D_y, \quad (2.68)$$

где вспомогательный угол калибра (см. рис. 21)

$$\alpha'' = \arcsin \frac{b_x}{R_M + h + r} \leq \alpha. \quad (2.69)$$

По краям полков:

$$D'_K = 2(D - h) - D_K. \quad (2.70)$$

12. Захват металла валками

При наличии катающих диаметров валков в основных точках развернутого углового калибра можно проверить условия захвата металла валками. Достаточно при этом проверить лишь первый по ходу прокатки подготовительный угловой калибр.

Ясно, что прямоугольная заготовка, задаваемая в калибр плашмя, захватывается в трех точках: по краям калибра со стороны внешних граней полков и посредине калибра внутренней вершиной угла на стыке полков. Расстояние между нижней и верхними точками захвата (см. рис. 21)

$$u - b_y,$$

и так как максимальная толщина углового профиля посредине

$$u = \frac{h+r}{\cos \alpha''} - r, \quad (2.71)$$

вертикальная проекция полки из (2.25)

$$b_y = C_b b$$

и, наконец, средний катающий диаметр валков в точках захвата из (2.67) и (2.68).

$$\approx 0,5 (D_K + D'_y),$$

то угол захвата достаточно точно определится из соотношения:

$$H_0 + C_b b + r - \frac{h+r}{\cos \alpha''} = (D_K + D'_y) \sin^2 \frac{\alpha_3}{2}.$$

Отсюда

$$\alpha_3 = 2 \arcsin \sqrt{\frac{H_0 + C_b b + r - \frac{h+r}{\cos \alpha''}}{D_K + D'_y}}. \quad (2.72)$$

При диагональной задаче квадратной или ромбической заготовки в равнобокий угловой калибр больший интерес представляет высота калибра u , соответствующая его середине, определяемая из допускаемого угла захвата и вертикальной диагонали заготовки H_0 , при этом в общем виде

$$u = H_0 - 2(D - u) \sin^2 \frac{\alpha_3}{2}.$$

Отсюда

$$u = \frac{H_0 - 2D \sin^2 \frac{\alpha_3}{2}}{1 - 2 \sin^2 \frac{\alpha_3}{2}}, \quad (2.73)$$

где α_3 — угол захвата допускаемый по условиям захвата металла валками.

При окружной скорости валков $v > 2$ м/сек угол захвата можно допускать:

для валков без насечки до $20 \div 22^\circ$, или $0,35 \div 0,38$ рад;
для валков с насечкой или наваркой до $24 \div 26^\circ$, или $0,42 \div 0,45$ рад.

III. КАЛИБРОВКА РАВНОБОКОГО УГОЛЬНИКА № 22

13. Характеристика стана и другие предварительные данные

Стан, на котором намечается прокатка уголка № 22, рельсобалочный линейного типа, расположенный в две линии.

Обжимная линия состоит из дуореверсивной клетки. Номинальный диаметр валков клетки дуо $D = 900$ мм, длина бочки

$l_6 = 2340$ мм, диаметр шеек $d = 530$ мм и длина шеек $l_{ш} = 550$ мм. Валки клетки 900 стальные, приводятся в движение реверсивным электромотором мощностью $N_n = 5000$ л. с. с числом оборотов $0 \pm 50 \pm 100$ в минуту; мотор управляется по схеме Ильгнера. С передней и задней стороны клетки имеются манипуляторные линейки с кантовальными пальцами.

Чистовая линия стана состоит из двух подготовительных клетей трио и одной клетки дуо. Номинальный диаметр валков клетей трио $D = 800$ мм, длина бочки валков $l_6 = 1930$ мм, диаметр шеек $d = 460$ мм и длина шеек $l_{ш} = 500$ мм. Валки клетей трио — стальные или чугуны — приводятся в движение электромотором мощностью $N_n = 6000$ л. с. с числом оборотов $0-70-140$ в минуту, мотор управляется по схеме Леонардо. Номинальный диаметр валков чистовой клетки дуо $D = 800$ мм, длина бочки $l_6 = 1220$ мм, диаметр шеек $d = 460$ мм, длина шеек $l_{ш} = 500$ мм. Валки клетки дуо — чугуны, приводятся в движение электромотором мощностью $N_n = 2500$ л. с. с числом оборотов $0-70-140$ в минуту; мотор управляется по схеме Леонардо. Подготовительные клетки трио с задней и передней сторон оборудованы подъемными качающимися столами, манипуляторами и шлепперами.

Стан может работать как с подогревом, так и без подогрева блумов, подаваемых от блуминга транзитом. Тяжелые сортовые профили прокатываются главным образом по второй схеме.

Нагрев блумов производится в трех высокопроизводительных методических печах.

Прокатка уголка № 22, как тяжелого профиля, может производиться без подогрева блумов, подаваемых к рельсобалочному стану от блуминга транзитом, при этом температура начала прокатки в клетях 900 составляет $t_n \approx 1150 \div 1170^\circ$, температура конца прокатки в чистовой клетке стана $t_k \approx 980^\circ$, температурный перепад за каждый пропуск $\Delta t \approx 20^\circ$.

При прокатке тяжелых сортов профилей на рельсобалочных и крупносортовых станах интенсивность деформации чаще всего лимитируется мощностью электромоторов привода стана и прочностью валков.

Установим допускаемые моторами привода стана крутящие моменты прокатки по клетям.

1. По реверсивной клетке 900 при допускаемом коэффициенте перегрузки мотора $\lambda_n = 2$, максимальном числе оборотов мотора за пропуск $n_m = 80$ в минуту, коэффициенте полезного действия шестеренной клетки $\eta_{ш} = 0,95$ и потерях на холостой ход 5% допускаемый момент прокатки составит:

$$M = \frac{716,2 N_n \lambda_n \eta_{ш} \eta_{xx}}{n_m} = \frac{716,2 \cdot 5000 \cdot 2 \cdot 0,96 \cdot 0,95}{80} = 80700 \text{ кгм.}$$

2. По подготовительным клетям трио чистовой линии 800 при допускаемом коэффициенте перегрузки мотора $\lambda_n = 2$, максимальном числе оборотов мотора за пропуск $n_m = 100$ в минуту, коэффициенте полезного действия шестеренной клетки $\eta_{ш} = 0,95$, потерях на холостой ход 5% и коэффициенте перекрытия пропусков $\Pi_n = 2$ допускаемый момент прокатки:

$$M = \frac{716,2 N_n \lambda_n \eta_{ш} \eta_{xx}}{\Pi_n n_m} = \frac{716,2 \cdot 6000 \cdot 2 \cdot 0,95 \cdot 0,95}{2 \cdot 100} = 38800 \text{ кгм.}$$

3. По чистовой клетке дуо при допускаемом коэффициенте перегрузки мотора $\lambda_n = 2$, максимальном числе оборотов мотора за пропуск $n_m = 120$ в минуту, коэффициенте полезного действия шестеренной клетки $\eta_{ш} = 0,95$ и потерях на холостой ход 5% допускаемый момент прокатки:

$$M = \frac{716,2 N_n \lambda_n \eta_{ш} \eta_{xx}}{n_m} = \frac{716,2 \cdot 2500 \cdot 2 \cdot 0,95 \cdot 0,95}{120} = 26990 \text{ кгм.}$$

14. Расчет калибровочных данных

Размеры заданного к получению равнобокого угольника соответствуют ОСТ 10014—39, при этом:

Ширина полки угольника:

$$b' = 220 \text{ мм.}$$

Допускаемые отклонения в размерах по ширине полок:

$$v_{ш} = \pm 4 \text{ мм.}$$

Толщина полок каждого из четырех типоразмеров уголка:

$$h'_{I} = 16 \text{ мм, } h'_{II} = 20 \text{ мм,}$$

$$h'_{III} = 24 \text{ мм, } h'_{IV} = 28 \text{ мм.}$$

Допускаемые отклонения в размерах по толщине полок:

$$v_r = +1,5 \text{ и } -1,0 \text{ мм.}$$

Радиусы закругления на стыке и по краям полок:

$$r' = 21 \text{ мм и } r'_k = 7 \text{ мм.}$$

Площадь поперечного сечения каждого из четырех типоразмеров уголка:

$$q'_{I} = 6840 \text{ мм}^2, \quad q'_{II} = 8450 \text{ мм}^2, \quad q'_{III} = 10040 \text{ мм}^2$$

$$q'_{IV} = 11590 \text{ мм}^2.$$

Первый (чистовой) калибр¹ и задаваемый в него раскат

Угол закрытия полок $\alpha_{\max} = 45^\circ$.

1. Толщина полок по каждому из четырех типоразмеров угольника с учетом допусков на минус (2.2):

$$1) \quad h_I = \lambda_t (h'_I - \nu_T) = 1,013 (16 - 1) = 15,2 \text{ мм}$$

$$2) \quad h_{II} = \lambda_t (h'_{II} - \nu_T) = 1,013 (20 - 1) = 19,2 \text{ мм}$$

$$3) \quad h_{III} = \lambda_t (h'_{III} - \nu_T) = 1,013 (24 - 1) = 23,3 \text{ мм}$$

$$4) \quad h_{IV} = \lambda_t (h'_{IV} - \nu_T) = 1,013 (28 - 1) = 27,3 \text{ мм}$$

2. Ширина полок (2.1):

$$b = \lambda_t (b' - \nu_{ш}) = 1,013 (220 - 4) = 218,8 \text{ мм.}$$

3. Радиус закругления на стыке полок (2.3):

$$r = \lambda_t r' = 1,013 \cdot 21 = 21,3 \text{ мм.}$$

4. Радиус закругления по краям полок (2.4):

$$r_K = \lambda_t r'_K = 1,013 \cdot 7 = 7,1 \text{ мм.}$$

5. Ширина матричного ручья (2.6):

$$ш_p = 1,7b = 1,7 \cdot 218,8 = 372 \text{ мм.}$$

6. Глубина (высота) матричного ручья (2.7):

$$\Gamma_p = 0,5b = 0,85 \cdot 218,8 = 186 \text{ мм.}$$

7. Номинальная расчетная толщина полок (2.8):

$$h = \sqrt[4]{h_I h_{II} \dots h_n} = \sqrt[4]{15,2 \cdot 19,2 \cdot 23,3 \cdot 27,3} = 20,8 \text{ мм.}$$

8. Номинальная площадь чистового калибра (2.5):

$$q = 2h(b - 0,5h) = 2 \cdot 20,8 (218,8 - 0,5 \cdot 20,8) = 8670 \text{ мм}^2.$$

9. Средняя ширина равнобокого углового профиля с прямыми полками (2.53):

$$Ш = 2(b - 0,5h) \cdot \cos 45^\circ = 2 \cdot (218,8 - 0,5 \cdot 20,8) \cdot 0,707 = 295 \text{ мм.}$$

10. Средняя толщина равнобокого углового профиля (1.25):

$$h_c = \frac{q}{ш} = \frac{8670}{295} = 29,4 \text{ мм.}$$

11. Средний катающий радиус валков (1.26):

$$R_c = 0,5(D - h_c) = 0,5(800 - 29,4) = 385 \text{ мм.}$$

¹ Здесь удобно нумеровать калибры по ходу расчета; по окончании расчетов — по ходу прокатки. Это и выполнено во всех таблицах и на рисунках шаблонов калибров.

12. При температуре прокатываемого металла $t_1 = 980^\circ$ константа Вращающего (1.15):

$$\lg p' = \lg p'_{900} - 0,0015(t - 900) = 0,4623930 - 0,0015(980 - 900) = 0,3423980,$$

при этом $p' = 22 \text{ кг/мм}^2$.

13. Коэффициент обжатия, допускаемый мощностью мотора привода чистовой клетки (1.18):

$$\lambda = 1 + \frac{1000 M}{p' Ш h_c R_c} = 1 + \frac{1000 \cdot 26900}{22 \cdot 295 \cdot 29,4 \cdot 385} = 1,366.$$

Но для крупных профилей по чистовому калибру такой коэффициент обжатия не обеспечивает получения чистого и правильного профиля и снижает стойкость валков; в чистовом калибре следует принять меньший коэффициент обжатия $\lambda = 1,080$.

14. Толщина полок углового профиля, задаваемого в чистовой калибр (2.10):

$$H = \lambda h = 1,080 \cdot 20,8 = 22,5 \text{ мм.}$$

15. Средняя толщина задаваемого профиля (2.10):

$$H_c = \lambda h_c = 1,080 \cdot 29,4 = 31,8 \text{ мм.}$$

16. Обжатие полок за пропуск (2.11):

$$\Delta h = H - h = 22,5 - 20 \cdot 8 = 1,7 \text{ мм.}$$

17. Среднее обжатие профиля за пропуск (2.11):

$$\Delta h_c = H_c - h_c = 31,8 - 29,4 = 2,4 \text{ мм.}$$

18. Угол захвата по среднему обжатию (2.13):

$$\alpha_c = \sqrt{\frac{\Delta h_c}{R_c}} = \sqrt{\frac{2,4}{385}} = 0,079 \text{ рад.}$$

19. Коэффициент трения металла о чугунные валки (1.39):

$$f = 0,8(1,05 - 0,0005t) = 0,8(1,05 - 0,0005 \cdot 980) = 0,448.$$

20. При отношении $\frac{\alpha_c}{f} = \frac{0,079}{0,448} = 0,176$ коэффициент $C_z = 0,48$

и возможное уширение каждой полки за пропуск (2.12):

$$Z = C_z \sqrt{\frac{R_c \Delta h_c^3}{H_c^2}} = 0,48 \sqrt{\frac{385 \cdot 2,4^3}{31,8^2}} = 1,1 \text{ мм.}$$

21. Ширина спрямленной полки углового профиля, задаваемого в чистовой калибр (2.14):

$$B = b - Z = 218,8 - 1,1 = 217,7 \text{ мм.}$$

22. Площадь поперечного сечения раската, задаваемого в чистовой калибр (2.15):

$$Q = 2H(B - 0,5H) = 2 \cdot 22,5(217,7 - 0,5 \cdot 22,5) = 9280 \text{ мм}^2.$$

23. Коэффициент вытяжки на пропуск (2.16):

$$\mu = \frac{Q}{q} = \frac{9280}{8670} = 1,070.$$

24. Ордината нейтральной линии чистового калибра (2.54):

$$Z_n = \frac{0,5b^2 + h(b - 0,5h)}{1,41(b - 0,5h)} = \frac{0,5 \cdot 218,8^2 + 20,8(218,8 - 0,5 \cdot 20,8)}{1,41(218,8 - 0,5 \cdot 20,8)} = 96,5 \text{ мм.}$$

Катающие диаметры верхнего ручья

25. По вершине угла калибра (2.58):

$$D_y = D - 2Z_n = 800 - 2 \cdot 96,5 = 607 \text{ мм.}$$

26. По краям ручья (2.60):

$$D_k = D_y + 1,7b = 607 + 1,7 \cdot 218,8 = 979 \text{ мм.}$$

Катающие диаметры нижнего ручья

27. По вершине угла калибра (2.59):

$$D'_y = 2 \left(D + r - \frac{h+r}{\cos 45^\circ} \right) - D_y = 2 \left(800 + 21,3 - \frac{20,8 + 21,3}{0,707} \right) - 607 = 916,6 \text{ мм.}$$

28. По краям ручья (2.61) при зазоре между валками (2.62)

$$z = 0,00 \cdot D \approx 7 \text{ мм;}$$

$$D'_k = 2(D - z) - D_k = 2(800 - 7) - 979 = 607 \text{ мм.}$$

Второй (предчистовой) калибр и задаваемый в него раскат

Угол закрытия полок:

$$\alpha = 45^\circ \text{ или } \alpha = 0,785 \text{ рад.}$$

Толщина полок калибра:

$$h = 22,5 \text{ мм.}$$

Средняя высота калибра:

$$h_c = 29,4 \text{ мм.}$$

Ширина спрямленной полки предчистового профиля:

$$B = 217,7 \text{ мм.}$$

Площадь калибра:

$$q = 9280 \text{ мм}^2.$$

1. Ширина полки предчистового калибра в развернутом состоянии (2.19):

$$b = B - 0,5h\alpha = 217,7 - 0,5 \cdot 22,5 \cdot 0,785 = 209 \text{ мм.}$$

2. Горизонтальная проекция полки (2.22) и (табл 1):

$$b_x = C_{ш}b = 0,804 \cdot 209 = 168 \text{ мм.}$$

3. Ширина калибра:

$$ш = 2b_x = 2 \cdot 168 = 336 \text{ мм.}$$

4. Вертикальная проекция внешней грани полки (2.25):

$$b_y = C_n b = 0,540 \cdot 209 = 112,9 \text{ мм.}$$

5. Малый радиус кривизны полок (2.18):

$$R_m = \frac{0,5b}{\alpha} = \frac{0,5 \cdot 209}{0,785} = 133 \text{ мм.}$$

6. Большой радиус кривизны полок (2.27):

$$R_0 = R_m + h = 133 + 22,5 = 155,5 \text{ мм.}$$

7. Средняя толщина равнобокого развернутого углового профиля (1.25):

$$h_c = \frac{h}{C_{ш}} = \frac{22,5}{0,804} = 28 \text{ мм*}.$$

8. Средний катающий радиус валков по предчистовому калибру (1.26):

$$R_c = 0,5(D - h_c) = 0,5(800 - 28) \approx 386 \text{ мм.}$$

9. Температура прокатываемого металла за пропуск:

$$t_2 = t_1 + \Delta t_1 = 980 + 20 = 1000^\circ.$$

10. Константа Вращского (1.15):

$$\lg p' = \lg p'_{900} - 0,0015(t - 900) = 0,4623980 - 0,0015(1000 - 900) = 0,3123980,$$

при этом $p' = 20,5 \text{ кг/мм}^2$.

* Для развернутых равнобоких угловых калибров $\frac{q}{ш} \approx \frac{h}{C_{ш}}$.

11. Коэффициент обжатия, допускаемый мощностью мотора привода подготовительных клеток трио чистовой линии (1.18):

$$\lambda = 1 + \frac{1000M}{p' \text{ ш } h_c R_c} = 1 + \frac{1000 \cdot 38800}{20,5 \cdot 336 \cdot 28 \cdot 386} = 1,522.$$

Но для крупных профилей по предчистовому калибру такой относительно высокий коэффициент обжатия не обеспечивает получения правильного профиля и снижает стойкость валков на истирание. Поэтому в предчистовом калибре следует принять меньший коэффициент обжатия, $\lambda = 1,160$.

12. Толщина полок углового профиля, задаваемого в предчистовой калибр (2.10):

$$H = \lambda h = 1,160 \cdot 22,5 = 26,1 \text{ мм.}$$

13. Средняя толщина задаваемого в предчистовой калибр профиля (2.10):

$$H_c = \lambda h_c = 1,160 \cdot 28 = 32,5 \text{ мм.}$$

14. Обжатие полок за пропуск (2.11):

$$\Delta h = H - h = 26,1 - 22,5 = 3,6 \text{ мм.}$$

15. Среднее обжатие профиля за пропуск (2.11):

$$\Delta h_c = H_c - h_c = 32,5 - 28 = 4,5 \text{ мм.}$$

16. Угол захвата по среднему обжатию (2.13):

$$\alpha_c = \sqrt{\frac{\Delta h_c}{R_c}} = \sqrt{\frac{4,5}{386}} = 0,108 \text{ рад.}$$

17. Коэффициент трения металла о чугунные валки (1.39):

$$f = 0,8 (1,05 - 0,0005t) = 0,8 (1,05 - 0,0005 \cdot 1000) = 0,440.$$

18. При отношении $\frac{\alpha_c}{f} = \frac{0,108}{0,440} = 0,246$ коэффициент формулы уширения Бахтинова $C_z = 0,46$ и возможное уширение каждой полки за пропуск (2.12):

$$Z = C_z \sqrt{\frac{R_c \Delta h_c^3}{H_c^2}} = 0,46 \sqrt{\frac{386 \cdot 4,5^3}{32,5^2}} = 2,6 \text{ мм.}$$

19. Приращение горизонтальной проекции полки задаваемого в угловой калибр профиля (2.34):

$$\Delta b_x = 0,5 H i = 0,5 \cdot 26,1 \cdot 0,10 \approx 1 \text{ мм.}$$

20. Горизонтальная проекция полки задаваемого в предчистовой калибр углового профиля (2.36):

$$B_x = b_x - \Delta b_x = 168 - 1 = 167 \text{ мм.}$$

21. Ширина полки углового профиля до пропуска (2.37):

$$B = \frac{B_x}{C_{ш}} = \frac{167}{0,804} = 207,7 \text{ мм.}$$

22. Приращение ширины полки за пропуск (2.38):

$$\Delta b = b - B = 209 - 207,7 = 1,3 \text{ мм.}$$

Как видно отношение

$$\frac{\Delta b}{Z} < 1,$$

и предчистовой калибр должен нормально заполняться металлом.

23. Площадь поперечного сечения раската задаваемого в предчистовой калибр (2.40):

$$Q = H [2B - H (\operatorname{tg} \alpha - \alpha)] = 26,1 [2 \cdot 207,7 - 26,1 (1 - 0,785)] = 10720 \text{ мм}^2.$$

24. Коэффициент вытяжки за пропуск (2.16):

$$\mu = \frac{Q}{q} = \frac{10720}{9280} = 1,154.$$

25. Ордината нейтральной линии развернутого равнобокого углового калибра (2.57):

$$Z_n = \frac{C_{нb} + h}{2C_{ш}} = \frac{0,558 \cdot 209 + 22,5}{2 \cdot 0,804} = 86,5 \text{ мм.}$$

Катающие диаметры верхнего ручья

26. По вершине угла калибра (2.58):

$$D_y = D - 2Z_n = 800 - 2 \cdot 86,5 = 627 \text{ мм.}$$

27. По краям полок (2.60):

$$D_k = D - 2C_{вb} = 627 + 2 \cdot 0,540 \cdot 209 = 853 \text{ мм.}$$

Катающие диаметры нижнего ручья

28. По вершине угла калибра (2.59):

$$D'_y = 2 \left(D + h - \frac{h+r}{\cos \alpha''} \right) - D_y = 2 \left(800 + 23 - \frac{22,5 + 23}{0,707} \right) - 627 = 890 \text{ мм.}$$

29. По краям полок (2.61):

$$D'_k = 2(D - h) - D_k = 2(800 - 22,5) - 853 = 702 \text{ мм.}$$

Третий калибр и задаваемый в него раскат

Угол закрытия полок:

$$\alpha = 45^\circ \text{ или } \alpha = 0,785 \text{ рад.}$$

Толщина полок калибра:

$$h = 26,1 \text{ мм.}$$

Ширина полки:

$$= 207,7 \text{ мм.}$$

Горизонтальная проекция полки:

$$b_x = 167 \text{ мм.}$$

Ширина калибра:

$$ш = 334 \text{ мм.}$$

Площадь калибра:

$$q = 10720 \text{ мм}^2.$$

1. Средняя высота калибра (1.25):

$$h_c = \frac{q}{ш} = \frac{10720}{334} = 32,5 \text{ мм.}$$

2. Вертикальная проекция внешней грани полки (2.25):

$$b_y = C_b b = 0,540 \cdot 207,7 = 112,2 \text{ мм.}$$

3. Малый радиус кривизны полки (2.18):

$$R_m = \frac{0,5b}{\alpha} = \frac{0,5 \cdot 207,7}{0,785} = 132 \text{ мм.}$$

4. Бóльший радиус кривизны полки (2.27):

$$R_o = R_m + h = 132 + 26,1 = 158,1 \text{ мм.}$$

5. Радиус закругления на стыке полок (2.29):

$$r = h \approx 26 \text{ мм.}$$

6. Выпуск матричного ручья (2.33):

$$i = 0,10.$$

7. Средний радиус валков по калибру (1.26):

$$R_c = 0,5(D - h_c) = 0,5(800 - 32,5) \approx 384 \text{ мм.}$$

8. Температура металла за пропуск:

$$t_3 = t_2 + \Delta t_2 = 1000 + 20 = 1020^\circ.$$

9. Константа Вращающего (1.15):

$$\lg p' = \lg p'_{900} - 0,0015(t - 900) = 0,4623980 - \\ - 0,0015(1020 - 900) = 0,2823980,$$

при этом $p' = 19,2 \text{ кг/мм}^2$.

10. Коэффициент обжатия, допускаемый мощностью мотора привода подготовительных клетей трио чистой линии (1.18):

$$\lambda = 1 + \frac{1000M}{p' ш h_c R_c} = 1 + \frac{1000 \cdot 38800}{19,2 \cdot 334 \cdot 32,5 \cdot 384} = 1,485.$$

Начиная с этого калибра коэффициент обжатия за пропуск может быть определен из учета мощности мотора привода как по первой подготовительной клетке трио чистой линии, так и по обжимной двухвалковой реверсивной клетке 900.

11. Толщина полок задаваемого в калибр углового раската (2.10):

$$H = \lambda h = 1,485 \cdot 26,1 = 38,8 \text{ мм.}$$

12. Средняя толщина задаваемого в калибр раската (2.10):

$$H_c = \lambda h_c = 1,485 \cdot 32,5 = 48,2 \text{ мм.}$$

13. Обжатие полок за пропуск (2.11):

$$\Delta h = H - h = 38,8 - 26,1 = 12,7 \text{ мм.}$$

14. Среднее обжатие задаваемого в калибр раската (2.11):

$$\Delta h_c = H_c - h_c = 48,2 - 32,5 = 15,7 \text{ мм.}$$

15. Угол захвата по среднему обжатию (2.13):

$$\alpha_c = \sqrt{\frac{\Delta h_c}{R_c}} = \sqrt{\frac{15,7}{384}} = 0,203 \text{ рад.}$$

16. Коэффициент трения металла о стальные валки (1.38):

$$f = 1,05 - 0,0005t = 1,05 - 0,0005 \cdot 1020 = 0,540.$$

При отношении $\frac{\alpha_c}{f} = \frac{0,203}{0,540} = 0,376$ коэффициент формулы уширения Бахтинова $C_z = 0,44$ и возможное уширение каждой полки за пропуск (2.12):

$$Z = C_z \sqrt{\frac{R_c \Delta h_c^3}{H_c^2}} = 0,44 \sqrt{\frac{384 \cdot 15,7^3}{48,2^2}} = 10,9 \text{ мм.}$$

17. Приращение горизонтальной проекции полки (2.34):

$$\Delta b_x = 0,5Hi = 0,5 \cdot 38,8 \cdot 0,10 \approx 2 \text{ мм.}$$

18. Горизонтальная проекция полки задаваемого в калибр углового раската (2.36):

$$B_x = b_x - \Delta b_x = 167 - 2 = 165 \text{ мм.}$$

19. Ширина полки углового профиля до пропуска (2.37):

$$B = \frac{B_x}{C_{ш}} = \frac{165}{0,804} = 205 \text{ мм.}$$

20. Приращение ширины полки за пропуск (2.38):

$$\Delta b = b - B = 207,7 - 205 = 2,7 \text{ мм.}$$

Как видно, отношение

$$\frac{\Delta b}{z} < 1$$

и калибр должен заполняться металлом.

21. Площадь поперечного сечения задаваемого в калибр углового раската (2.40):

$$Q = H [2B - H (\operatorname{tg} \alpha - \alpha)] = 33,8 [2 \cdot 205 - 38,8 (1 - 0,785)] = 15600 \text{ мм}^2.$$

22. Коэффициент вытяжки за пропуск (2.16):

$$\mu = \frac{Q}{q} = \frac{15600}{10720} = 1,455.$$

23. Ордината нейтральной линии калибра (2.57):

$$Z_H = \frac{C_H b + h}{2C_H} = \frac{0,558 \cdot 207,7 + 26,1}{2 \cdot 0,804} = 88,5 \text{ мм.}$$

Катающие диаметры верхнего ручья

24. По вершине угла калибра (2.58):

$$D_y = D - 2Z_H = 800 - 2 \cdot 88,5 = 623 \text{ мм.}$$

25. По краям полок (2.60):

$$D_H = D_y + 2C_H b = 623 + 2 \cdot 0,540 \cdot 207,7 = 847 \text{ мм.}$$

Катающие диаметры нижнего ручья

26. По вершине угла калибра (2.59):

$$D'_y = 2 \left(D + r - \frac{h+r}{\cos \alpha'} \right) - D_y = 2 \left(800 + 26 - \frac{26,1 + 26}{0,707} \right) - 623 = 881,6 \text{ мм.}$$

27. По краям полок (2.61):

$$D'_H = 2(D - h) - D_H = 2(800 - 26,1) - 847 = 700,8 \text{ мм.}$$

Так как расчет всех последующих развернутых угловых калибров выполняется таким же образом, как и расчет третьего калибра, то не повторяя подробно всех вычислений, готовые результаты по этим калибрам (рис. 24) приводим в табл. 7.

Определившиеся расчетом семь угловых калибров распределяются по всем клетям стана.

В обжимной реверсивной двухвалковой клетке монтируются два калибра (рис. 2). В первом по ходу прокатки калибре про-

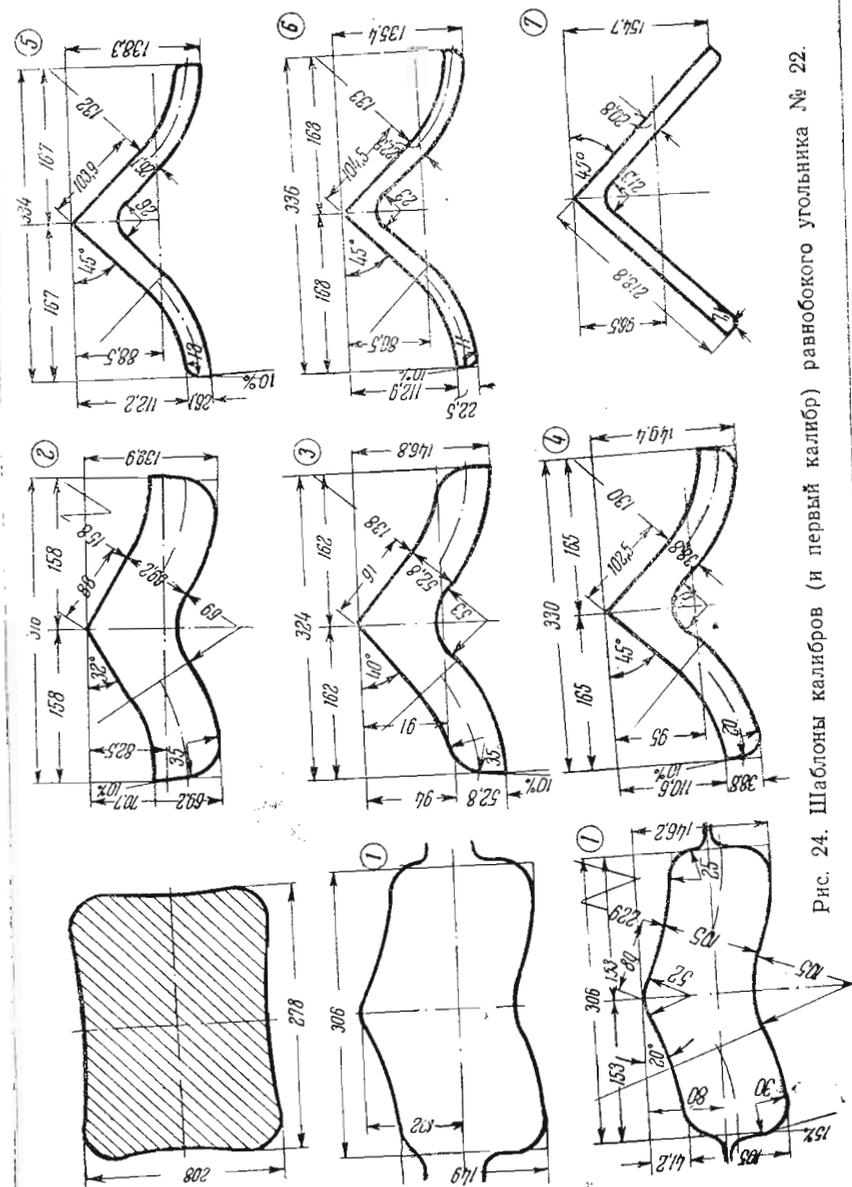


Рис. 24. Шаблоны калибров (и первый калибр) равнобокого угольника № 22.

№ калибра	α°	№ пропусков	h мм	b мм	b_x мм	Ш мм	q мм ²	h_c мм	b_y мм	R_M мм	D мм	R_c мм	t °С	P' кг.мм ²	λ	H мм	Δh мм
7	45	8	20,8	218,8	—	295	8670	29,4	—	—	800	385	980	22,0	1,080	22,5	1,7
6	45	7	22,5	209,0	168	336	9280	28,0	112,9	133	800	386	1000	20,5	1,150	26,1	3,6
5	45	6	26,1	207,7	167	334	10720	32,5	112,2	132	800	384	1020	19,2	1,485	38,8	12,7
4	45	5	38,8	205,0	165	330	15600	48,2	110,6	130	800	376	1040	17,9	1,362	52,8	14,0
3	40	4	52,8	192,0	162	324	19850	62,6	94,0	138	800	369	1060	16,7	1,310	69,2	16,4
2	32	3	69,0	176,0	158	316	24000	77,0	70,7	158	900	411	1080	15,6	1,518	105,0	35,8
1	20	2	105,0	160,0	153	306	33400	110,0	41,2	229	900	395	1100	14,5	1,418	149,0	44,0
1	—	1	149,0	151,0	145	290	44700	156,0	—	—	900+44	394	1120	13,6	1,332	—	—

Продолжение табл. 7

№ калибра	H_c мм	Δh_c мм	z мм	Δb_x мм	R_x мм	C_{III}	B мм	Δb мм	$\frac{\Delta b}{Z}$	$\frac{\Delta b_x}{Z}$	$tg \alpha$	Q мм ²	p	Z_H мм	D_y мм	D_R мм	D'_y мм	D'_R мм
7	31,8	2,4	1,1	—	167	—	217,7	1,1	1,00	—	1,000	9280	1,070	96,5	607	979	916,6	607,0
6	32,5	4,5	2,6	0,804	165	0,804	207,7	1,3	0,50	—	1,000	10720	1,154	86,5	627	853	890,0	702,0
5	48,2	15,7	10,9	0,844	162	0,844	205,0	2,7	0,25	—	1,000	15600	1,455	88,5	623	847	881,6	700,8
4	65,7	17,5	9,3	0,899	158	0,899	192,0	13,0	—	0,32	0,839	19850	1,272	95,0	610	831	847,4	691,4
3	82,0	19,4	8,4	0,960	153	0,960	176,0	16,0	—	0,48	0,839	24000	1,210	91,0	618	806	811,4	688,4
2	117,0	40,0	16,6	0,960	145	0,960	160,0	16,0	—	0,30	0,625	33400	1,392	82,5	735	876	877,5	785,6
1	156,0	46,0	14,7	0,960	145	0,960	151,0	9,0	—	0,54	0,364	44700	1,340	80,0	740/747	822	823,0	768,0
1	208,0	52,0	12,2	—	—	—	—	—	—	—	—	57800	1,293	80+22	740/747	822	823,0	768,0

изводится два пропуска. Один из них с задачей заготовки с передней стороны клетки в калибр с приподнятым верхним валком на

$$h_1 - h_2 = 149 - 105 = 44 \text{ мм},$$

а второй пропуск с задачей раската с задней стороны клетки в валки с нормальным образованием первого углового калибра.

В первой подготовительной трехвалковой клетки чистовой линии монтируются 3 калибра, во второй клетки — 1 калибр и наконец в чистовой двухвалковой клетки монтируется также 1 калибр.

Всего предусматривается восемь пропусков в семи фасонных равнобоких угловых калибрах.

15. Определение размеров заготовки

Высота прямоугольной заготовки, задаваемой в первый угловой калибр плашмя, составляет

$$H_0 \approx 208 \text{ мм},$$

а ширина заготовки (2.41):

$$B_0 = 2(b_x - 0,5Z) = 2(145 - 0,5 \cdot 12,2) \approx 278 \text{ мм}.$$

16. Проверка условий захвата металла валками

Наибольший угол захвата соответствует первому пропуску в первом угловом калибре, при этом угол захвата (2.72):

$$\alpha_3 = 2 \arcsin \sqrt{\frac{H_0 + c_B b + r - \frac{h+r}{\cos \alpha''}}{D_R + D'_y}} =$$

$$= 2 \arcsin \sqrt{\frac{208 + 0,258 \cdot 160 + 105 - \frac{149 + 105}{0,940}}{822 + 823}} = 26^\circ.$$

Такой угол захвата допустим при малых скоростях захвата в двухвалковой реверсивной клетки при наличии на валках негрубой насечки по захватывающим участкам ручьев.

17. Проверка прочности валков

1. Положение прямоугольной заготовки по отношению к нейтральной линии калибра при задаче в угловой калибр устанавливается ординатой (1.53):

$$z_0 = 0,5(D - H_0) = 0,5(900 + 44 - 208) = 368 \text{ мм}.$$

2. Контактная поверхность металла с валками на прямых участках полок (1.50):

$$F'_x = \frac{1}{4 \operatorname{tg} \alpha} \left\{ (D_y + b \sin \alpha) \sqrt{(D_y + b \sin \alpha)^2 - 4z_0^2} - \right. \\ \left. - D_y \sqrt{D_y^2 - 4z_0^2} - \right. \\ \left. - 4z_0^2 \ln \left[\frac{D_y + b \sin \alpha + \sqrt{(D_y + b \sin \alpha)^2 - 4z_0^2}}{D_y + \sqrt{D_y^2 - 4z_0^2}} \right] \right\} = \\ = \frac{1}{4 \cdot 0,364} \left\{ (740 + 160 \cdot 0,342) \sqrt{(740 + 160 \cdot 0,342)^2 - 4 \cdot 368^2} - \right. \\ \left. - 740 \sqrt{740^2 - 4 \cdot 363^2} - \right. \\ \left. - 4 \cdot 368^2 \ln \left[\frac{740 + 160 \cdot 0,342 + \sqrt{(740 + 160 \cdot 0,342)^2 - 4 \cdot 368^2}}{740 + \sqrt{740^2 - 4 \cdot 368^2}} \right] \right\} = \\ = 15930 \text{ мм}^2.$$

3. Контактная поверхность металла с валками на развернутых участках полок (1.51):

$$F''_x = \frac{1}{4 \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}} \left\{ D_R \sqrt{D_R^2 - 4z_0^2} - \right. \\ \left. - (D_y + b \sin \alpha) \sqrt{(D_y + b \sin \alpha)^2 - 4z_0^2} - \right. \\ \left. - 4z_0^2 \ln \left[\frac{D_R + \sqrt{D_R^2 - 4z_0^2}}{D_y + b \sin \alpha + \sqrt{(D_y + b \sin \alpha)^2 - 4z_0^2}} \right] \right\} = \\ = \frac{1}{4 \cdot 0,176} \left\{ 822 \sqrt{822^2 - 4 \cdot 368^2} - \right. \\ \left. - (740 + 160 \cdot 0,342) \sqrt{(740 + 160 \cdot 0,342)^2 - 4 \cdot 368^2} - \right. \\ \left. - 4 \cdot 368^2 \ln \left[\frac{822 + \sqrt{822^2 - 4 \cdot 368^2}}{740 + 160 \cdot 0,342 + \sqrt{(740 + 160 \cdot 0,342)^2 - 4 \cdot 368^2}} \right] \right\} = \\ = 25700 \text{ мм}^2.$$

4. Полная контактная поверхность металла с валками (1.52):

$$F_x = F'_x + F''_x = 15930 + 25700 = 41630 \text{ мм}^2.$$

Полная контактная поверхность металла с валками, определенная через среднее обжатие (1.22):

$$F = \pi \sqrt{R_c \Delta h_c} = 290 \sqrt{394 \cdot 52} = 41500 \text{ мм}^2,$$

которая мало отличается от поверхности, определенной по элементам (1.50) и (1.51):

Очевидно для равнобоких угловых калибров полную контактную поверхность металла с валками можно определять достаточно точно как по элементам (1.50) и (1.51), так и упрощенно (1.22).

6. Удельное сопротивление стали (Ст. 2) при статическом сжатии (1.40):

$$k = (14 - 0,01t)(1,4 + C + Mn + 0,3Cr) = \\ = (14 - 0,01 \cdot 1120)(1,4 + 0,09 + 0,60) = 5,85 \text{ кг/мм}^2.$$

7. При коэффициенте (1.27):

$$\delta = f \sqrt{\frac{4R_c}{\Delta h_c}} = 0,49 \sqrt{\frac{4 \cdot 394}{52}} = 2,7$$

и относительном обжатии (1.28):

$$\frac{\Delta h_c}{H_c} = \frac{52}{208} = 0,25$$

по кривым Целикова (рис. 4 и 5) устанавливаем значение коэффициента напряженного состояния

$$\left| \frac{p}{k} \right| = 1,18$$

и определяем удельное давление (1.29):

$$p = k \left| \frac{p}{k} \right| = 5,85 \cdot 1,18 = 6,9 \text{ кг/мм}^2.$$

8. Полное давление металла на один валок (1.21):

$$P = pF_x = 6,9 \cdot 41630 = 287000 \text{ кг}.$$

9. Имея в виду, что, кроме угловых калибров, на бочке валков должны быть еще и ящичные калибры (см. рис. 2), можем рассматривать случай изгиба валков из условия расположения первого углового калибра по середине бочки, при этом

$$G + D \approx l_6 + l_{ш} = 234 + 55 = 289 \text{ см};$$

$$G \approx D = 0,5(l_6 + l_{ш}) = 0,5 \cdot 289 = 144,5 \text{ см}$$

и изгибающий момент по бочке вала (1.19):

$$M_6 = P \left(\frac{\Gamma D}{\Gamma + D} - \frac{\mu}{8} \right) = 287\,000 \left(\frac{144,5 \cdot 144,5}{289} - \frac{29}{8} \right) = 19\,750\,000 \text{ кг} \cdot \text{см.}$$

10. Изгибающий момент по шейке вала (1.20):

$$M_{III} = \frac{P l_{III} \Gamma}{2(\Gamma + D)} = \frac{287\,000 \cdot 53 \cdot 144,5}{2 \cdot 289} = 3\,960\,000 \text{ кг} \cdot \text{см.}$$

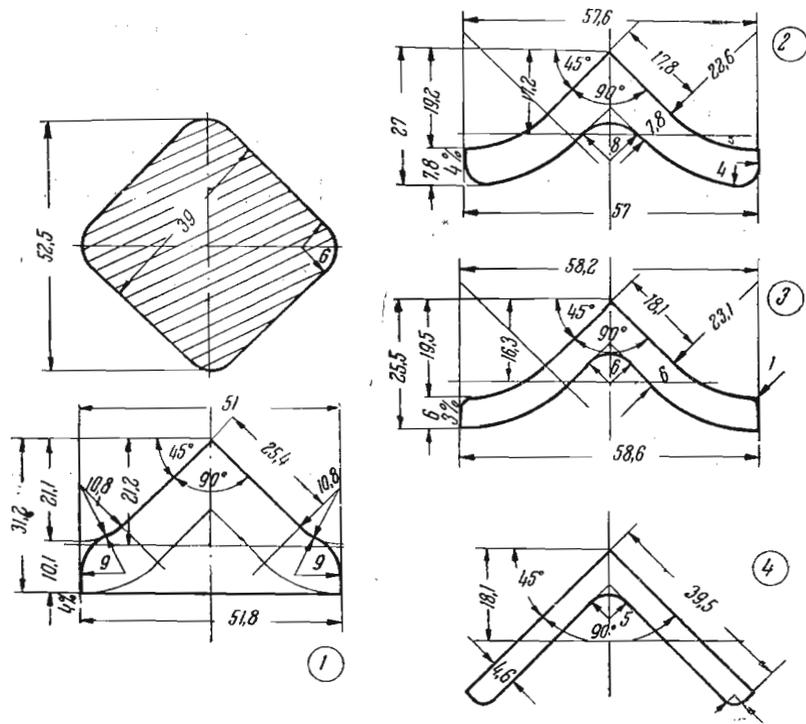


Рис. 25. Шаблоны калибров равнобокого угольника № 4

11. С учетом уменьшения диаметра валков вследствие переточки на 10% напряжения изгиба по бочке вала (1.42):

$$\sigma_6 = \frac{M_6}{0,1 \cdot 0,9^3 D_p^3} = \frac{19\,750\,000}{0,1 \cdot 0,9^3 \cdot 74,7^3} = 651 \text{ кг/см}^2.$$

12. Напряжения изгиба в шейках валков (1.43):

$$\sigma_{III} = \frac{M_{III}}{0,1 d^3} = \frac{3\,960\,000}{0,1 \cdot 53^3} = 266 \text{ кг/см}^2.$$

13. Напряжения скручивания в шейках (1.44):

$$\tau_{III} = \frac{M}{0,4 d^3} = \frac{8\,070\,000}{0,4 \cdot 53^3} = 136 \text{ кг/см}^2.$$

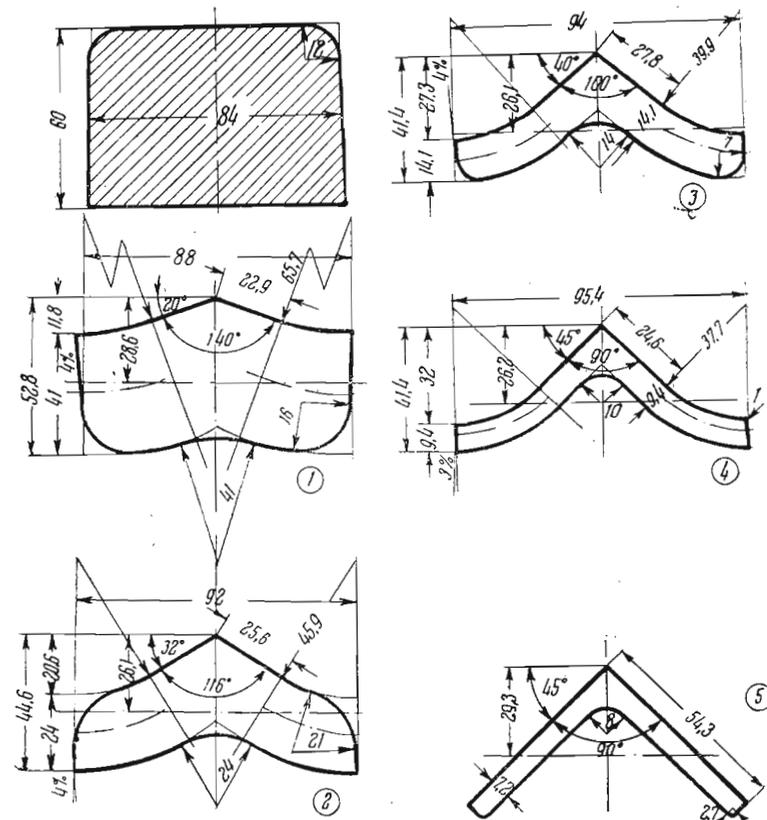


Рис. 26. Шаблоны калибров равнобокого угольника № 6, 5 с задачей заготовки плашмя

14. Расчетное нормальное напряжение в шейках (1.46):

$$\sigma_p = \sqrt{\sigma_{III}^2 + 3\tau_{III}^2} = \sqrt{266^2 + 3 \cdot 136^2} = 355 \text{ кг/см}^2.$$

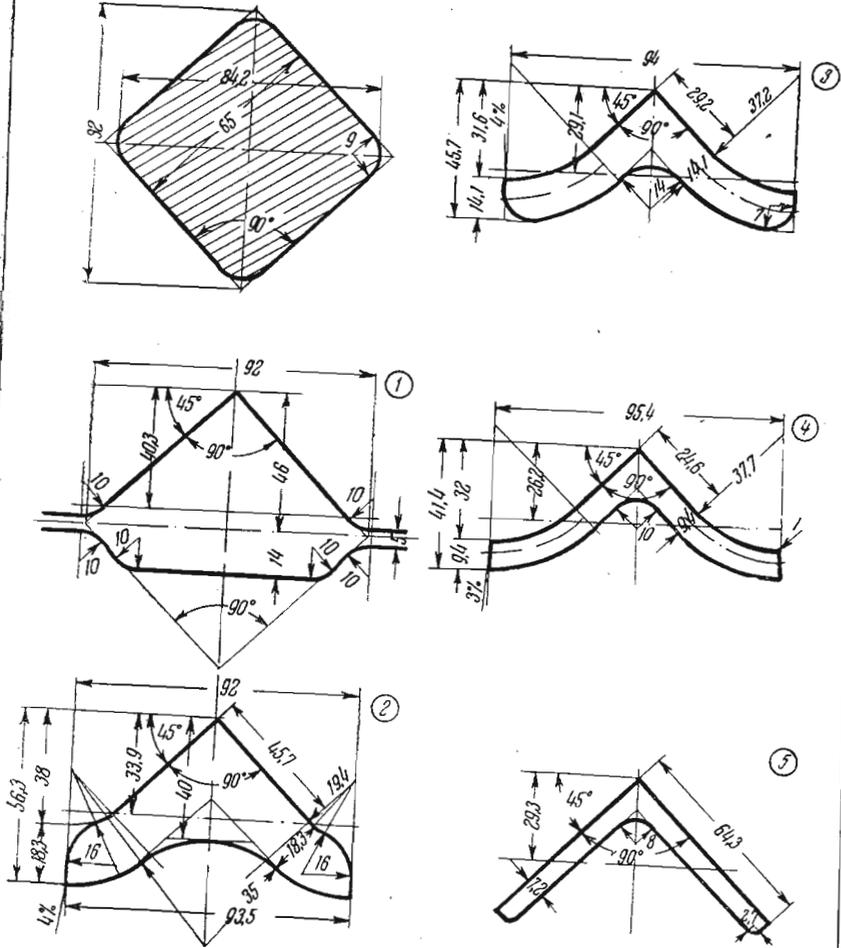


Рис. 26—а. Шаблоны калибров равнобокого угольника № 6,5 с диагональной задачей заготовки

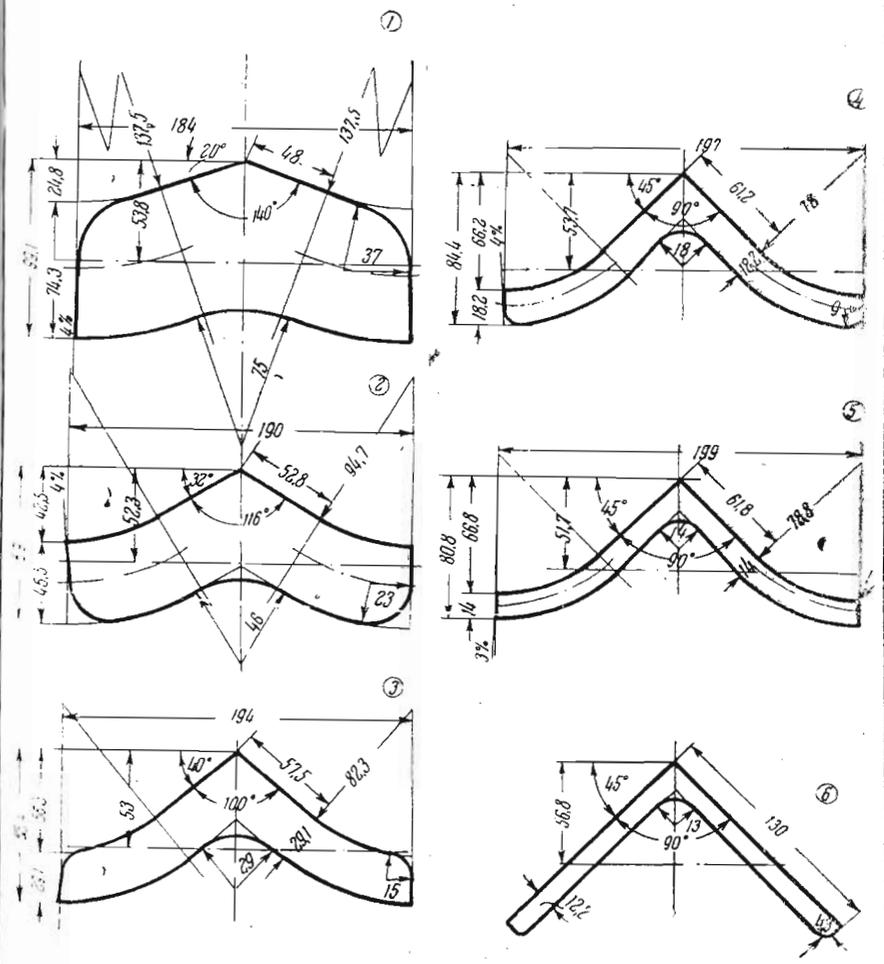


Рис. 27. Шаблоны калибров равнобокого угольника № 13

Как видно, напряжения изгиба по бочке валков и расчетные нормальные напряжения в шейках не превышают напряжений, допускаемых для стальных валков.

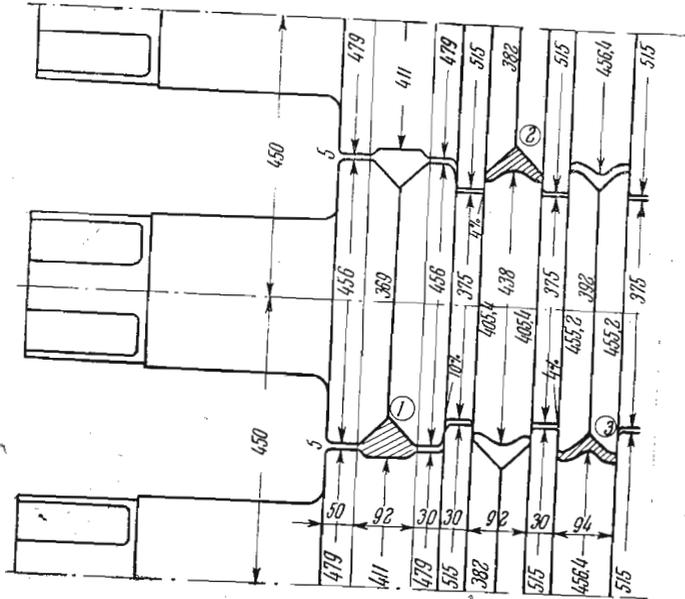


Рис. 28. Рабочие валки трехвалкового стана для прокатки равнобокого угольника № 6, 5 (принцип монтажа калибров и конструирования ручьев, буртов и замков)

Таким же путем выполнена калибровка других равнобоких угольников №№ 4, 6, 5 и 13, по которым калибры приведены на рис. 25, 26, 26а, 27 и 28, а расчетные данные в табл. 8, 9, 9а и 10.

Таблица 8

Расчетные показатели калибровки равнобокого угольника № 4

№ калибра	α°	h мм	λ	H мм	Δh мм	b	b_x мм	q мм ²	Q мм ²	ρ	R_M мм	b_y мм
4	45	4,6	1,3	6,0	1,4	39,5	—	342	427	1,245	—	—
3	45	6,0	1,3	7,8	1,8	36,2	29,1	427	552	1,293	23,1	19,5
2	45	7,8	1,3	10,1	2,3	35,5	28,5	552	911	1,650	22,6	19,2
1	45	10,1	—	—	—	33,8	25,5	911	1520	1,680	10,8	21,1

Примечание. Квадратная заготовка задается по диагонали

Таблица 9

Расчетные показатели калибровки угольника № 6, 5

№ калибра	α°	h мм	λ	H мм	Δh мм	b мм	b_x мм	R_M мм	b_y мм	q мм ²	Q мм ²	ρ	Z_H мм	D мм	D_y мм	D_K мм	D'_y мм	D'_K мм
5	45	7,2	1,30	9,4	2,2	64,3	—	—	—	873	1095	1,255	29,3	450	391	500,0	481,0	390,0
4	45	9,4	1,50	14,1	4,7	59,2	47,7	37,7	32,0	1095	1544	1,410	26,2	450	398	462,0	467,0	419,2
3	40	14,1	1,70	24,0	9,9	55,7	47,0	39,9	27,3	1944	2420	1,565	26,1	450	398	452,6	456,6	419,2
2	32	24,0	1,70	41,0	17,0	51,2	46,0	45,9	20,8	2420	3690	1,524	26,1	450	398	439,2	436,6	412,8
1	20	41,0	1,46	60,0	19,0	45,8	44,0	65,7	11,8	3690	5040	1,365	28,6	450	393	416,6	414,4	401,4

Примечание. Заготовка задается плашмя.

Таблица 9а

Расчетные показатели калибровки равнобокого угольника № 6, 5

№ калибра	α°	h мм	λ	H мм	Δh мм	b мм	b_x мм	q мм ²	Q мм ²	ρ	R_M мм	b_y мм
5	45	7,2	1,3	9,4	2,2	64,3	—	873	1095	1,255	—	—
4	45	9,4	1,5	14,1	4,7	59,2	47,7	1095	1607	1,468	37,7	32,0
3	45	14,1	1,3	18,3	4,2	58,5	47,0	1607	2166	1,346	37,2	31,6
2	45	18,3	—	—	—	61,0	46,0	2166	3200	1,480	19,4	38,0
1	45	—	—	—	—	65,0	46,0	3200	4225	1,320	10,0	43,5

Примечание. Квадратная заготовка задается по диагонали.

Таблица 10

Расчетные показатели калибровки равнобокого угольника № 13
(зигзагообразный стан 500)

№ калибра	α°	h мм	λ	H мм	Δh мм	b мм	b_x мм	q мм ²	Q мм ²	μ	R_m мм	b_y мм
6	45	12,2	1,15	14,0	1,8	130,0	—	3020	3420	1,168	—	—
5	45	14,0	1,30	18,2	4,2	123,7	99,5	3420	4200	1,227	78,8	66,8
4	45	18,2	1,60	29,1	10,9	122,4	98,5	4200	6580	1,565	78,0	66,2
3	40	29,1	1,60	46,5	17,4	115,0	97,0	6580	9680	1,470	82,3	56,3
2	32	46,5	1,60	74,3	27,8	105,6	95,0	9680	14180	1,465	94,7	42,5
1	20	74,3	1,60	119,0	34,7	96,0	92,0	14180	20940	1,475	137,5	24,8

IV. ОПЫТНАЯ ПРОКАТКА РАВНОБОКОГО УГОЛЬНИКА № 6,5

18. Характеристика прокатного стана

Среднесортный стан одного из металлургических заводов Донбасса, на котором производилась опытная прокатка равнобокого угольника № 6,5, расположен в две линии:

1. Обжимная линия состоит из одной трехвалковой клетки с диаметром валков $D = 520$ мм.

2. Чистовая линия состоит из четырех трехвалковых клетей с диаметром валков $D = 400$ мм и длиной бочки валков в трех клетях по 1100 мм и в одной клетке — 1250 мм. Двигатель чистой линии асинхронный электромотор, мощностью 1600 л. с., с числом оборотов 210 в минуту, регулируемый в пределах 170 ÷ 210 об/мин. Мотор чистой линии снабжен маховиком весом 7000 кг, с диаметром обода 2500 мм и моментом инерции 850 кгм · сек².

19. Методика и результаты исследования

Для экспериментальной проверки методики калибровки равнобокого угольника в заводских условиях был выбран угольник № 6,5 с толщиной полки 6 мм.

Экспериментирование производилось в два этапа. Первый раз для предварительного опробования калибровки успешно были прокатаны 13 заготовок из стали средней твердости (Ст. 5) с отбором темплетов по всем калибрам. Во второй серии опытов, проводившейся уже по более широкому плану, регистриро-

валась температура нагрева металла, мощность по пропускам и число оборотов двигателя и исследовался характер поперечной деформации металла и уширение полки. Температура металла фиксировалась оптическим пирометром перед первым пропуском и в конце прокатки. Мощность по пропускам регистрировалась самопишущим ваттметром, при помощи которого получены диаграммы нагрузки. Число оборотов валков замерялось тахометром.

Для исследования характера поперечной деформации и уширения металла при прокатке были приготовлены заготовки (рис. 29) квадратного сечения со стороной 72 мм заведомо с расчетом на свободное уширение в первом фасонном калибре.

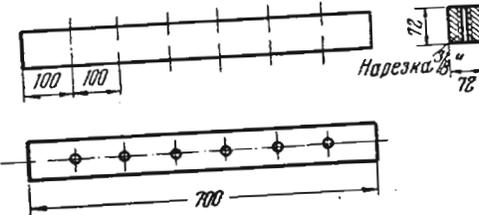


Рис. 29. Заготовка с гужонами

На середине высоты заготовок просверливались насквозь перпендикулярно оси горизонтальные отверстия под нарезку $3/8$ ", в которые вставлялись гужоны с резьбой; всего каждая заготовка по длине имела шесть гужонов.

Во второй серии опытов прокатаны 11 заготовок из мягкой стали (Ст. 3) при температуре металла в начале прокатки ~ 1050 и в конце прокатки ~ 970° и сняты пять диаграмм нагрузки (рис. 30). Для первых

четырех подготовительных пропусков с постоянным коэффициентом обжатия по полкам нагрузка на мотор привода стана равномерна (табл. 11), тем самым подтверждается положение: постоянные коэффициенты обжатия по подготовительным развернутым калибрам обуславливают равномерную нагрузку двигателя.

Вследствие наличия маховика при стане фи-

Таблица 11
Мощность мотора по пропускам при прокатке угольника № 6,5

№ про-пуска	Мощность мотора квт	Примечания
1	895	Подготовительные развернутые угловые калибры
2	920	
3	890	
4	898	
5	567	Предчистой [калибр] 11 Чистой калибр
6	700	

ксируемая ваттметром максимальная нагрузка мотора за пропуск несколько отлична от мощности прокатки, но благодаря малому весу и моменту инерции маховика, степень расхождения не превышает 1—3%.

В предчистовом калибре мощность ниже, чем в каждом из четырех подготовительных калибров, ибо в этом калибре и коэффициент обжатия меньше. По чистовому калибру мощность

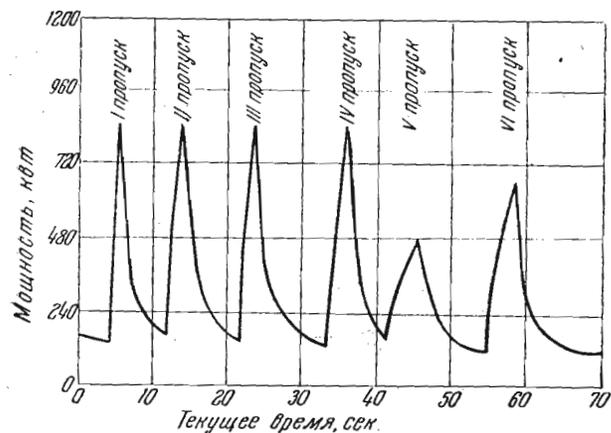


Рис. 30. Диаграмма нагрузки при прокатке равнобокого угольщика № 6,5

выше, по сравнению с предотделочным. Повышение мощности в чистовом калибре как показали опыты А. П. Чекмарева [9] и М. В. Врацкого [8] объясняется резким отгибом полок в чистовом калибре влияющим на увеличение константы p' . В отобранных темплетях по всем калибрам после механической обработки и подготовки шлифов травлением выявлены гужоны (рис. 31—36) со следами нарезки, причем, как видно, в темплете по первому калибру (рис. 31) изгиб гужона заметно отстает от изгиба полок.

В первом фасонном калибре (рис. 31) уширение не ограничено — заготовка разрезана не по середине и одна полка не выполнена; второй и последующие калибры выполнены нормально.

На шлифах первых четырех темплетов (рис. 31—34) при помощи бинокулярного микроскопа измерено расстояние между нитками и по изменению шага нарезки по длине гужона установлено, что полки уширяются неравномерно: меньше по краям и на стыке, больше — по середине (рис. 37). Такой характер неравномерности уширения полок очевидно объясняется тем, что гужоны подвергаются неравномерной деформации: на стыке

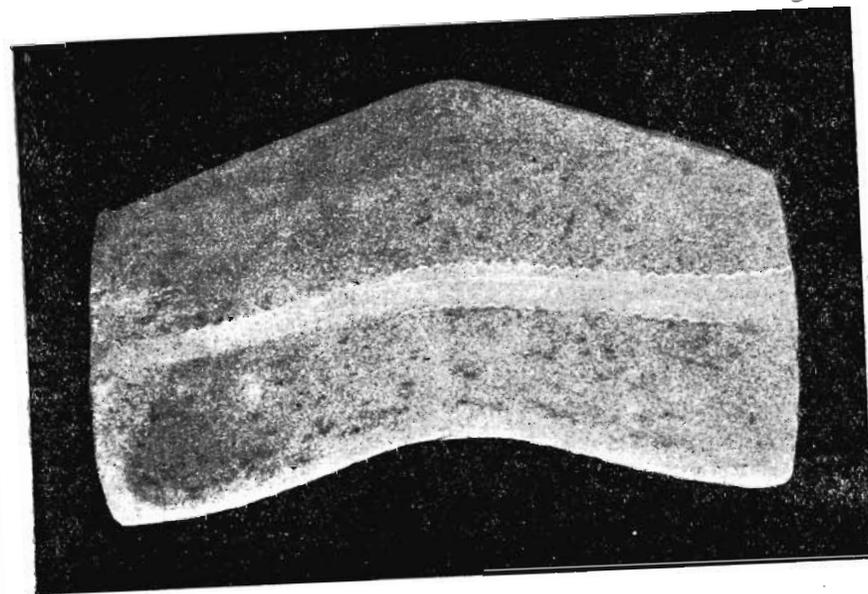


Рис. 31. Темплет от раската после первого калибра равнобокого угольщика № 6,5

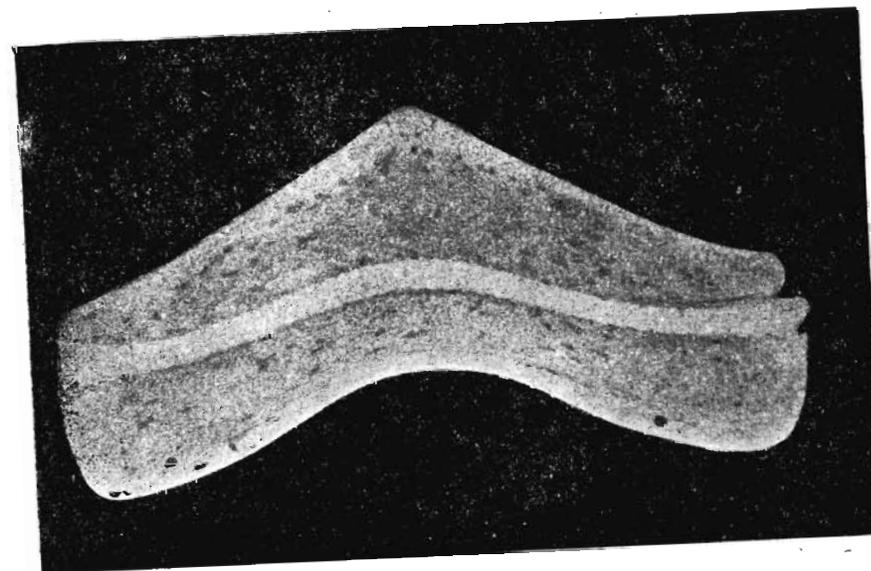


Рис. 32. Темплет от раската после второго калибра равнобокого угольщика № 6,5

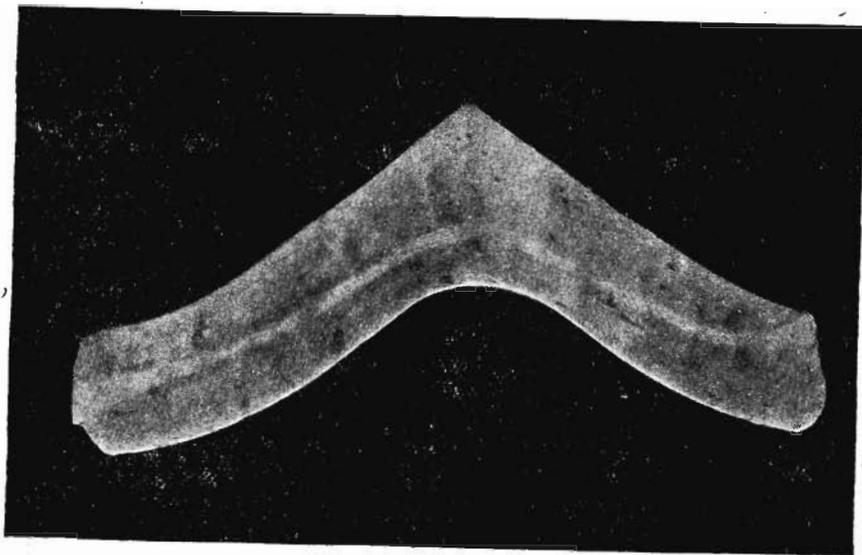


Рис. 33. Темплет от раската после третьего калибра равнобокого угольника № 6,5

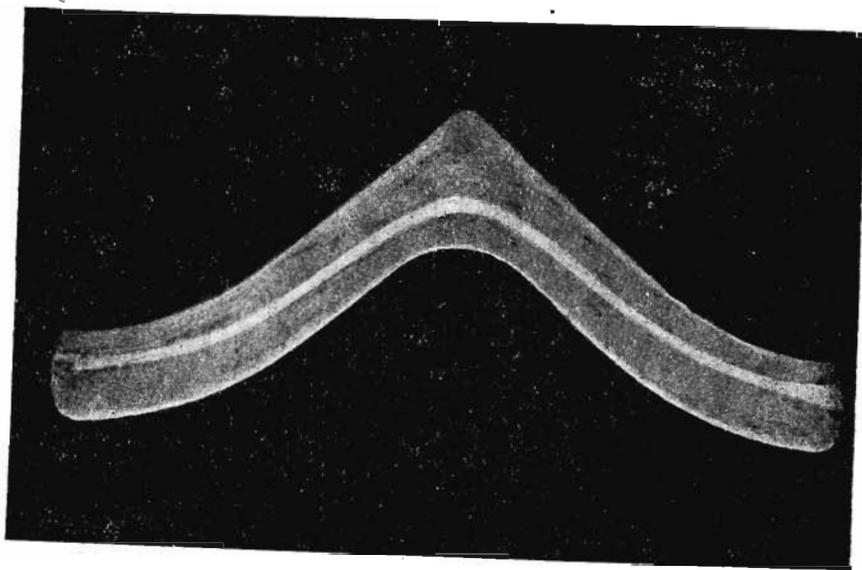


Рис. 34. Темплет от раската после четвертого калибра равнобокого угольника № 6,5

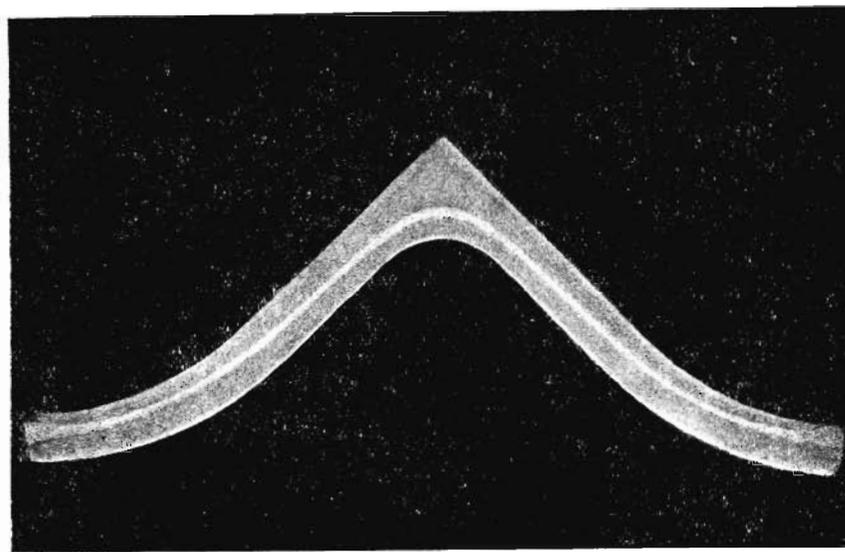


Рис. 35. Темплет от раската после пятого (предчистового) калибра равнобокого угольника № 6,5

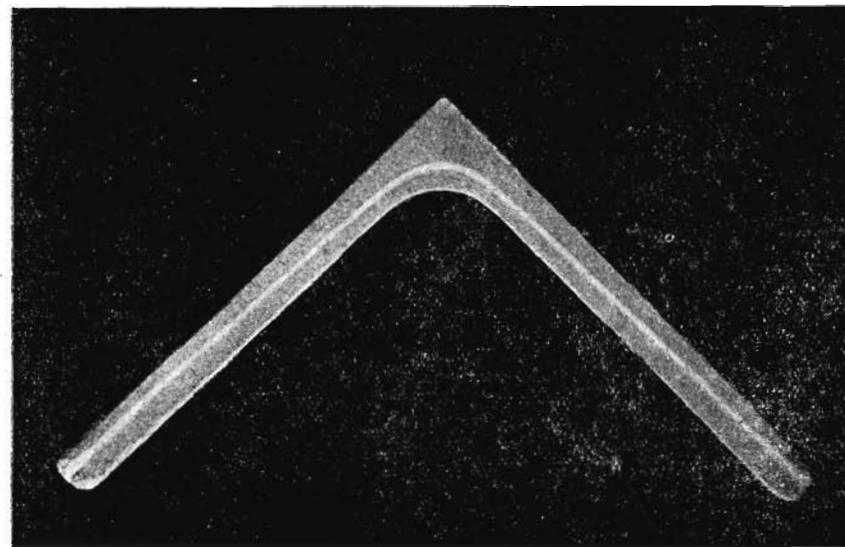


Рис. 36. Темплет от раската после шестого (чистового) калибра равнобокого угольника № 6,5

полок вследствие меньшего суммарного обжатия, по краям — вследствие перехода боковых граней сечения на основную контактную верхнюю и нижнюю поверхность металла с валками.

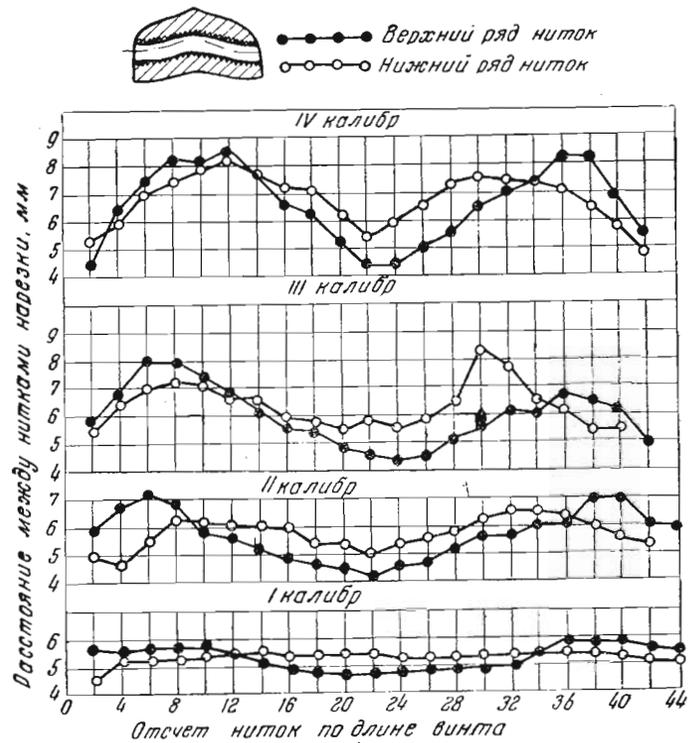


Рис. 37. Изменение шага нарезки гужонов по ширине полок равнобокого углового раската

Указанная неравномерность уширения полок тем больше, чем больше суммарно деформирован винт.

В предотделочном и чистовом калибрах (рис. 35 и 36) винты оказались настолько деформированными, что обнаружить нарезку и произвести замер расстояния между нитками не представилось возможным.

При помощи микроциркуля тщательно измерялась длина гужонов по оси (табл. 12). Приращение длины гужонов в смежных калибрах, если и не полностью, то достаточно близко характеризует среднюю величину уширения двух полок. Сопоставляя приращение длины гужонов по пропускам с расчетным уширением полок, можно констатировать, что в последних трех по

Таблица 12

Уширения полок в равнобоких угловых калибрах

№ калибра	Длина гужона по оси $l_{гж}$ мм	Приращение длины гужона в смежных калибрах $\Delta l_{гж}$ мм	Расчетное уширение двух полок по Бахтинову Z , мм	$\frac{\Delta l_{гж}}{Z}$	$\frac{h}{2b_x}$	Примечания
0	72	—	—	—	—	Подготовительные калибры
1	85	13,0	21,6	0,60	0,46	
2	93	8,0	13,0	0,62	0,28	
3	101	8,0	11,2	0,71	0,17	
4	109	8,0	8,4	0,95	0,10	Предчистовой калибр Чистовой калибр
5	114	5,0	4,4	1,14	0,07	
6	116	2,0	1,7	1,18	—	

ходу прокатки калибрах расчетное уширение близко к фактическому приращению длины гужонов; в первых трех калибрах расчетного уширения полок заметно меньше фактического, и тем меньше, чем ближе конфигурация фасонного углового сечения приближается к прямоугольнику заготовки.

На основании этого можно сделать вывод, что в первом фасонном калибре уширение обеих полок близко к уширению обычной полосы, а затем, по мере перехода сечения от прямоугольного к угловому и уменьшения отношения толщины полок к ширине калибра $\frac{h}{2b_x}$, каждая полка с третьего-четвертого калибра начинает уширяться самостоятельно. Эту закономерность следует иметь в виду при расчете уширения полок по Бахтинову.

ГЛАВА ТРЕТЬЯ

КАЛИБРОВКА НЕРАВНОБОКИХ УГОЛЬНИКОВ

Неравнобокие уголки, так же как и равнобокие, относятся к массовым фасонным профилям, получаемым путем горячей прокатки и характеризуются дробным номером, числитель и знаменатель которого образуется от ширины большой и малой полки в сантиметрах. Общесоюзным стандартом (ОСТ 10015—39) предусмотрена прокатка неравнобоких уголков от № 3/2 до № 20/15 с полками шириной от 30/20 до 200/150 мм и толщиной от 3 до 20 мм. Стандартом предусматривается прокатка от двух до четырех угольников каждого номера, отличающихся только толщиной полков, с градацией по толщине в 1 и 2 мм.

Производственной практикой доказано, что прокаткой прямоугольной заготовки в пяти-шести фасонных неравнобоких угловых калибрах вполне обеспечивается выполнение внешней вершины угла профиля на стыке полков. Пять калибров можно рекомендовать при прокатке легких для данного стана уголков и энергичном режиме деформации, особенно из малоуглеродистых марок стали, шесть калибров — при прокатке тяжелых и нормальных уголков, особенно из сталей повышенной твердости.

Оптимальное соотношение между шириной полков неравнобоких угольников и номинальным диаметром валков стана, выработанное практикой, удовлетворяющее условиям прочности валков и условиям захвата металла валками, приведено в табл. 4.

Все сказанное относительно данных, необходимых для выполнения рабочей калибровки равнобоких угольников, в полной мере относится и к калибровке неравнобоких уголков.

1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ РАЗМЕРОВ И ПОСТРОЕНИЕ НЕРАВНОБОКИХ УГЛОВЫХ КАЛИБРОВ

20. Чистовой неравнобокий угловой калибр и задаваемое в него сечение

По условиям калибровщику заданы основные размеры неравнобокого угольника в холодном состоянии в миллиметрах (рис. 38):

- $b'_м$ и $b'_б$ — ширина малой и большой полки,
- $v_ш$ — допускаемые отклонения в размерах по ширине полков,
- $h'_I, h'_{II}...h'_n$ — толщина полков угольников одного и того же номера,
- $v_т$ — допускаемые отклонения в размерах по толщине полков,
- r' и $r'_к$ — радиус закругления на стыке и по краям полков,
- $q'_I, q'_{II}...q'_n$ — площадь поперечного сечения каждого из заданных типоразмеров уголков в $мм^2$, по которым должны быть получены размеры профиля в нагретом состоянии, а значит и основные размеры чистового калибра (рис. 39), с учетом по ширине и толщине полков допусков на минус.

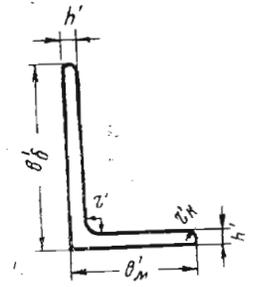


Рис. 38. Неравнобокий угольник, заданный к получению.

Таким образом — ширина малой полки чистового уголка в нагретом состоянии:

$$b_m = \lambda_t (b'_м - v_ш); \quad (3.1)$$

ширина большой полки:

$$b_b = \lambda_t (b'_б - v_ш); \quad (3.2)$$

толщина полков:

$$h = \lambda_t (h' - v_т), \quad (2.2)$$

где $\lambda_t = 1,012 \div 1,013$ — коэффициент линейной усадки металла при охлаждении от температуры конца прокатки до нормальной температуры.

Радиусы закругления чистового профиля на стыке и по краям полков устанавливаются как и прежде (2.3) и (2.4).

Площадь неравнобокого угольника с достаточной для дальнейших расчетов степенью точности представится так:

$$q = h (b_m + b_b - h). \quad (3.3)$$

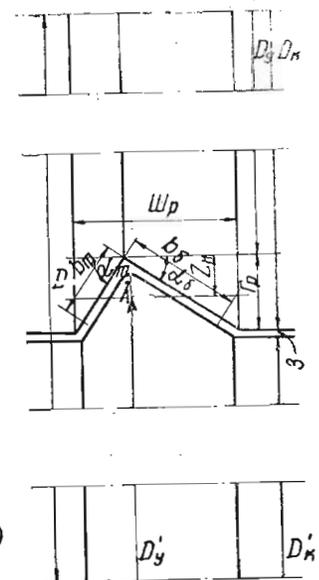


Рис. 39. Чистовой неравнобокий угловой калибр с равными вертикальными проекциями полков.

В практике прокатки неравнобоких угольников встречаются два варианта расположения чистовых калибров в валках. По одному из них (рис. 40) сохраняется равенство углов закрытия малой и большой полки $\alpha_m = \alpha_b$, при этом естественно вертикальные проекции полки неодинаковы, по другому (рис. 39) наоборот равны вертикальные проекции обеих полки, тогда как $\alpha_m > \alpha_b$.

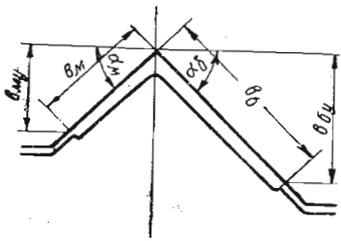


Рис. 40. Чистовой неравнобокий угловой калибр с равными углами закрытия полки

Основным и трудно устранимым недостатком первого расположения калибров является неуравновешенность осевых усилий, действующих на валки со стороны большой и малой полки, обусловленная неравенством вертикальных проекций полки. Целесообразность этого расположения обосновывается обычно возможностью прокатывать в одном и том же чистовом калибре по крайней мере два типоразмера уголков, сохраняя при этом одинаковую толщину обеих полки, что достигается регулировкой валков в вертикальной плоскости.

Однако такое утверждение, основанное на рассмотрении только геометрического соотношения ручьев, является ошибочным, так как осевая неуравновешенность валков способствует повышенному износу буртов подшипников и приводит к разнотолщинности полки.

Следует отдать предпочтение второму варианту расположения чистовых неравнобоких угловых калибров. При равенстве вертикальных проекций обеих полки, благодаря осевой уравновешенности валков, создаются надежные условия получения уголков с одинаковыми по толщине обеими полками, уменьшается неравномерность окружных скоростей в различных точках ручьев, в результате чего улучшаются условия службы валков на износ; путем вертикальной и осевой регулировки валков вполне возможна прокатка в одном и том же чистовом калибре со свободным уширением двух размеров угольников с градацией по толщине полки 1—2 мм, почти перекрываемой допускаемыми на \pm отклонениями в размерах.

Итак, определим положение чистового неравнобокого углового калибра в валках из условия равенства вертикальных проекций полки (рис. 39):

$$b_m \sin \alpha_m = b_b \sin \alpha_b,$$

тогда

$$\frac{b_b}{b_m} = \frac{\sin \alpha_m}{\sin \alpha_b}$$

и так как $\alpha_b = 90 - \alpha_m$, а $\sin \alpha_b = \cos \alpha_m$,

$$\text{то } \frac{b_b}{b_m} = \text{tg } \alpha_m.$$

Отсюда угол закрытия малой полки:

$$\alpha_m = \text{arc tg } \frac{b_b}{b_m}. \quad (3.4)$$

Точно таким же образом угол закрытия большой полки:

$$\alpha_b = \text{arc tg } \frac{b_m}{b_b}, \quad (3.5)$$

Или еще иначе:

$$\alpha_b = 90 - \alpha_m. \quad (3.6)$$

Для нормальной задачи раската в чистовой неравнобокий угловой калибр необходимо, чтобы ширина матричного ручья калибра (рис. 41) была несколько больше ширины задаваемого в него развернутого раската, т. е.

$$\text{Ш}_p \approx 1,1 (b_{mx} + b_{bx}),$$

где b_{mx} и b_{bx} — горизонтальная проекция малой и большой полки предчистового профиля. Если учесть рассмотренное в дальнейшем соотношение элементов предчистового развернутого неравнобокого углового калибра, то этому требованию удовлетворяет также и равенство:

$$\text{Ш}_p \approx 1,2 (b_m \cos \alpha_m + b_b \cos \alpha_b), \quad (3.7)$$

при этом глубина (высота) матричного ручья определится либо через большую полку:

$$\Gamma_p = 1,2 b_b \sin \alpha_b, \quad (3.8)$$

либо через малую полку:

$$\Gamma_p = 1,2 b_m \sin \alpha_m, \quad (3.9)$$

где Ш_p и Γ_p — ширина и глубина (высота) матричного ручья чистового неравнобокого углового калибра.

За номинальную расчетную толщину полки всех неравнобоких угольников данного номера может быть принята средняя геометрическая (2.8) или средняя арифметическая (2.9), по которой при выбранном режиме деформации и коэффициентах обжатия устанавливается толщина

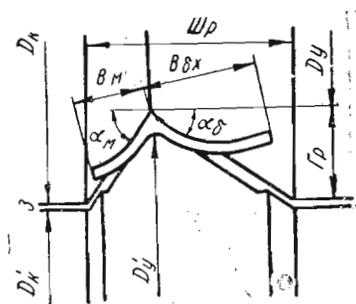


Рис. 41. Задача предчистового развернутого неравнобокого раската в чистовой калибр

полож предчистового и подготовительных калибров (2.10) и обжатие за каждый пропуск (2.11).

Возможное уширение каждой полки неравнобокого углового профиля достаточно точно можно определять по Бахтинову, как и при калибровке равнобоких уголков (2.12), при этом средняя высота чистового калибра:

$$h_c = \frac{q}{(b_m - 0,5h) \cos \alpha_m + (b_0 - 0,5h) \cos \alpha_0} \quad (3.10)$$

Или в другом виде:

$$h_c = \frac{h(b_m + b_0 - h)}{(b_m - 0,5h) \cos \alpha_m + (b_0 - 0,5h) \cos \alpha_0} \quad (3.11)$$

Средний катающий радиус валков и угол захвата по среднему обжатию определяется, как и прежде (1.26) и (2.13).

Таким образом, установлены все данные, необходимые для определения —

ширины малой спрямленной полки неравнобокого углового профиля, задаваемого в чистовой калибр:

$$B_m = b_m - Z, \quad (3.12)$$

ширины большой спрямленной полки:

$$B_0 = b_0 - Z, \quad (3.13)$$

площади поперечного сечения:

$$Q = H(B_m + B_0 - H) \quad (3.14)$$

и коэффициента вытяжки за пропуск (2.16), где B_m , B_0 и H — ширина малой и большой полки и толщина полки неравнобокого спрямленного углового профиля, задаваемого в чистовой калибр, а Q — площадь поперечного сечения задаваемого раската.

21. Развернутые неравнобокие угловые калибры

Благодаря ранее указанным преимуществам развернутых калибров перед прямыми, предчистовой и подготовительные неравнобокие угловые калибры в настоящее время повсюду выполняются развернутыми с одинаковыми или неравными между собой вертикальными проекциями обеих полок, хотя неравенство вертикальных проекций полок в этом случае ничем не оправдано. Сама форма развернутых неравнобоких угловых калибров допускает сохранение вертикальных проекций полок одинаковыми даже при равенстве углов закрытия обеих полок.

Углы закрытия полок неравнобоких угловых калибров и их последовательность от калибра к калибру могут быть сохранены те же, что и при калибровке равнобоких уголков (табл. 1).

Итак, сохраняя вертикальные проекции обеих полок развернутых неравнобоких угловых калибров одинаковыми, для построения этих калибров можно рекомендовать три основных положения:

1. Сохранять у основания малой и большой полки (рис. 42) прямые участки, составляющие каждую половину ширины малой полки по внешней грани:

$$p = 0,5 b_m. \quad (3.15)$$

2. Развернутые изогнутые участки малой и большой полки, сопряженные с прямыми и составляющие половину ширины малой полки, образовывать как дуги с постоянным радиусом кривизны

$$R_m = \frac{0,5 b_m}{\alpha}, \quad (3.16)$$

центр которых находится на пограничной вертикали ручья $f'g'$ со стороны малой полки и соответственно $f''g''$, равноотстоящей от вершины угла калибра со стороны большой полки.

3. Избыток по ширине большой полки одинаковый для всех развернутых калибров, определяемый как разность между шириной большой и малой полки предчистового калибра, выполнять в виде горизонтального участка, сопряженного с изогнутым участком большой полки.

Ширина полок предчистового развернутого неравнобокого углового профиля (рис. 18) определяется таким же образом, как и при калибровке равнобоких уголков, а именно —

ширина малой развернутой полки:

$$b_m = B_m - 0,5 h \alpha, \quad (3.17)$$

ширина большой развернутой полки:

$$b_0 = B_0 - 0,5 h \alpha, \quad (3.18)$$

при этом горизонтальный участок большой полки постоянный для всех развернутых калибров:

$$b_r = b_0 - b_m. \quad (3.19)$$

Далее определится горизонтальная проекция малой полки:

$$b_{mx} = 0,5 b_m \left(\cos \alpha + \frac{\sin \alpha}{\alpha} \right) \quad (3.20)$$

или в другом виде:

$$b_{mx} = C_{ш} b_m. \quad (3.21)$$

Горизонтальная проекция большой полки:

$$b_{0x} = 0,5 b_m \left(\cos \alpha + \frac{\sin \alpha}{\alpha} \right) + b_r \quad (3.22)$$

или в другом виде:

$$b_{\bar{b}x} = b_{mx} + b_r. \quad (3.23)$$

Вертикальная проекция как малой, так и большой полки по внешней грани определится через ширину малой полки

$$b_y = C_b b_m. \quad (3.24)$$

Значение постоянных калибра $C_{ш}$, C_b и другие простые круговые функции угла закрытия полок развернутых неравнобоких угловых калибров приведены в табл. 1.

Площадь развернутого неравнобокого углового калибра с достаточной для дальнейших расчетов степенью точности может быть определена без учета закруглений таким образом:

$$q = h [b_m + b_b - h (\operatorname{tg} \alpha - \alpha)]. \quad (3.25)$$

Заканчивая рассмотрение параметров, относящихся к предчистовому или любому подготовительному развернутому неравнобокому угловому калибру, определим:

- 1) большой радиус кривизны изогнутых участков полок (2.27);
- 2) радиус закругления на стыке полок изнутри (2.28) и (2.29) и по краям полок на дне матричных ручьев (2.30) и (2.31);
- 3) радиус закругления по внешней вершине угла на стыке полок первого по ходу прокатки подготовительного калибра (2.32);

- 4) выпуск матричных ручьев (2.33).

Так же, как и при калибровке равнобоких уголков, для облегчения задачи раската в развернутый неравнобокий угловой калибр и повышения стойкости реборд ручьев на истирание желательнее, чтобы каждый последующий по ходу прокатки развернутый калибр был шире предыдущего (2.34).

Таким образом, горизонтальные проекции полок каждого последующего по ходу расчета развернутого калибра могут быть определены по горизонтальным проекциям полок предыдущего калибра, начиная от предчистового — для малой полки:

$$B_{mx} = b_{mx} - \Delta b_x \quad (3.26)$$

и точно так же для большой полки:

$$B_{bx} = b_{bx} - \Delta b_x \quad (3.27)$$

где B_{mx} и B_{bx} — горизонтальные проекции малой и большой полки задаваемого в калибр раската или, что то же самое, горизонтальные проекции полок последующего по ходу расчета развернутого калибра.

При наличии горизонтальных проекций малой и большой полки из уравнения (3.21) определим ширину малой полки каждого развернутого калибра:

$$B_m = \frac{B_{mx}}{C_{ш}} \quad (3.28)$$

и ширину большой полки:

$$B_b = B_m + b_r. \quad (3.29)$$

Сказанное о характере и ограничении уширения полок и заполнении равнобоких угловых калибров (2.39) полностью относится и к неравнобоким угловым калибрам.

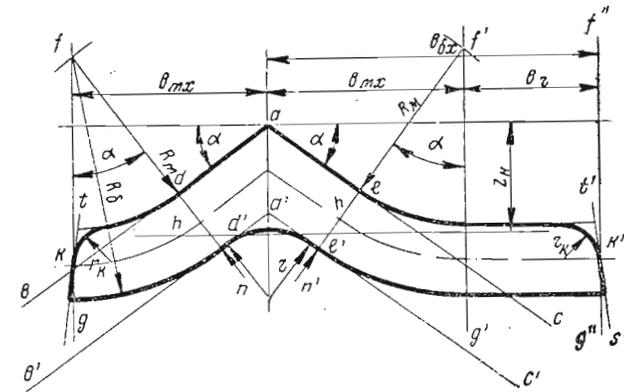


Рис. 42. Построение развернутого неравнобокого углового калибра

Площадь развернутого неравнобокого углового раската, задаваемого в калибр, определится подобно площади развернутого калибра:

$$Q = H [B_m + B_b - H (\operatorname{tg} \alpha - \alpha)], \quad (3.30)$$

а коэффициент вытяжки за пропуск как отношение площадей раската до и после пропуска (2.16).

Построение неравнобоких развернутых угловых калибров (рис. 42) мало чем отличается от построения равнобоких калибров.

22. Размеры заготовки

Высота прямоугольной или квадратной заготовки, задаваемой в первый подготовительный неравнобокий угловой калибр плашмя (рис. 43), определится через толщину полки этого калибра и коэффициент обжатия в нем (2.10).

Ширина заготовки B_0 при частично ограниченном уширении определится в зависимости от ширины первого по ходу прокатки углового калибра:

$$B_0 = b_{mx} + b_{bx} - Z. \quad (3.31)$$

Площадь поперечного сечения заготовки Q_0 определяется, как и прежде (2.42).

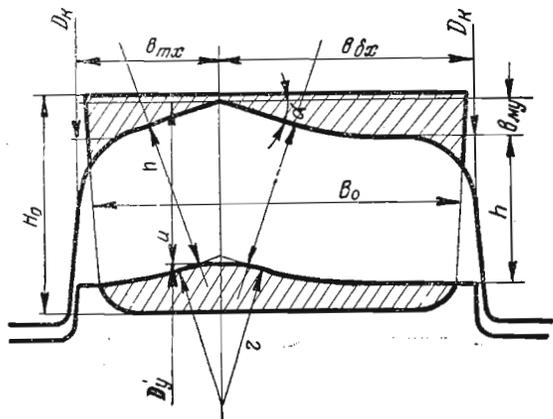


Рис. 43. Задача заготовки в развернутый неравнобокий угловой калибр

II. МОНТАЖ НЕРАВНОБОКИХ УГЛОВЫХ КАЛИБРОВ В ВАЛКАХ

23. Нейтральная линия неравнобоких угловых калибров

По чистовому неравнобокому угловому калибру с прямыми полками (рис. 39), если за базу ординаты нейтральной линии принята внешняя вершина угла калибра, вспомогательная площадь Φ формулы (1.82) определится так:

$$\Phi = 0,5 (b_m^2 + b_b^2) \cos \alpha_m \cos \alpha_b.$$

Площадь калибра (3.3):

$$q = h (b_m + b_b - h)$$

и ширина калибра (по заполнению металлом):

$$\text{ш} = (b_m - 0,5 h) \cos \alpha_m + (b_b - 0,5 h) \cos \alpha_b. \quad (3.31a)$$

Подставляя значения Φ , q и ш в формулу (1.82), получим ординату нейтральной линии чистового неравнобокого углового калибра от верхней базы:

$$Z_{II} = \frac{(b_m^2 + b_b^2) \cos \alpha_m \cos \alpha_b + h (b_m + b_b - h)}{2 [(b_m - 0,5 h) \cos \alpha_m + (b_b - 0,5 h) \cos \alpha_b]}. \quad (3.32)$$

Применительно к рассмотренной форме развернутых неравнобоких угловых калибров (рис. 44), если за базу ординаты нейтральной линии принята внешняя вершина угла калибра,

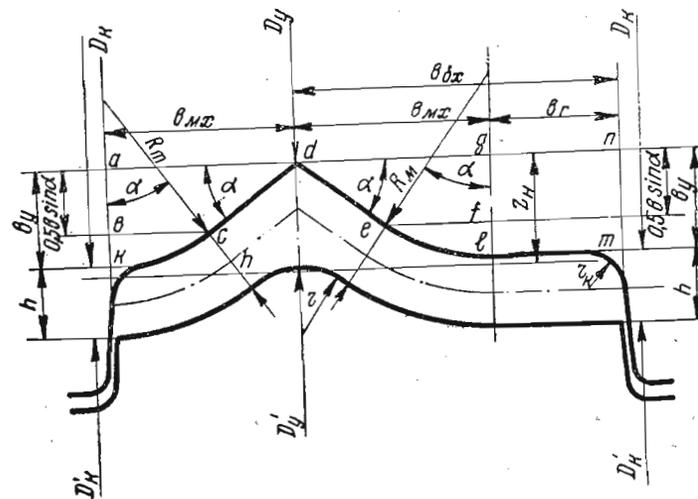


Рис. 44. Нейтральная линия развернутого неравнобокого углового калибра

вспомогательная площадь Φ формулы (1.82) определится как сумма площадей двух трапеций $abcd$ и $defg$, двух полусегментов bck и efl и прямоугольника $glmn$:

$$\Phi = 0,5 (b_{mx} + R_m \sin \alpha) b_m \sin \alpha + R_m^2 \left(\alpha - \frac{\sin 2\alpha}{2} \right) + b_r b_y.$$

Имея в виду, что из (3.16), (3.20) и (3.24)

$$R_m = \frac{0,5 b_m}{\alpha},$$

$$b_{mx} = 0,5 b_m \left(\cos \alpha + \frac{\sin \alpha}{\alpha} \right),$$

$$b_y = 0,5 b_m \sin \alpha + \frac{b_m}{\alpha} \sin^2 \frac{\alpha}{2},$$

после подстановки и преобразования, получим:

$$\Phi = 0,25 b_m^2 \left[\left(\cos \alpha + \frac{2 \sin \alpha}{\alpha} \right) \sin \alpha + \frac{1}{\alpha^2} \left(\alpha - \frac{\sin 2\alpha}{2} \right) \right] + 0,5 b_m b_r \left(\sin \alpha + \frac{2 \sin^2 \frac{\alpha}{2}}{\alpha} \right).$$

Так как площадь калибра (3.25):

$$q \approx h(b_m + b_0)$$

и ширина калибра (3.20) и (3.22)

$$\text{ш} = 2 b_m \left(\cos \alpha + \frac{\sin \alpha}{\alpha} \right) + b_r,$$

то после подстановки q и ш в формулу (1.82) получим ординату нейтральной линии развернутого неравнобокого углового калибра от верхней базы (рис. 44).

$$Z_n = \frac{C_n b_m^2 + 0,5 [2C_b b_m b_r + h(b_m + b_0)]}{2 C_{\text{ш}} b_m + b_r}. \quad (3.33)$$

24. Катающие диаметры валков по ручьям неравнобоких угловых калибров

Положение неравнобокого углового калибра в валках, так же как и равнобокого, вполне определяется двумя катающими диаметрами: по вершине угла верхнего ручья (2.63), (2.64) и (2.65) и по выступу, соответствующему внутренней вершине угла развернутого калибра нижнего ручья (2.68), и несколько иначе для чистового калибра с прямыми полками, а именно:

$$D'_y = 2 \left[D + r - \frac{(h+r) \cos \frac{\alpha_m - \alpha_0}{2}}{\cos \frac{\alpha_m + \alpha_0}{2}} \right] - D_y. \quad (3.34)$$

Однако, как уже было указано, во избежание перекоса калибров при расточке валков, желательно еще знать катающие диаметры валков по краям ручьев, определяемые для развернутых калибров (рис. 45) по формулам (2.67) и (2.70), а для чистового калибра — так же, как и при калибровке равнобоких угольников. При этом

для верхнего ручья:

$$D_k = D_y + 2\Gamma_p \quad (3.35)$$

и для нижнего ручья:

$$D'_k = (D - z) - D_k, \quad (3.36)$$

где Γ_p — глубина (высота) матричного ручья неравнобокого чистового углового калибра (3.8) или (3.9).

25. Захват металла валками

Прямоугольная или квадратная заготовка, задаваемая в первый неравнобокий угловой калибр плашмя (рис. 43), захватывается в трех точках: по краям калибра со стороны наружных граней полки и выступом со стороны внутренней вершины угла калибра. Поэтому проверка условий захвата металла валками при калибровке неравнобоких угольников выполняется в той же последовательности, как и для равнобоких уголков (2.72).

III. КАЛИБРОВКА НЕРАВНОБОКОГО УГОЛЬНИКА № 9/6

26. Характеристика прокатного стана

Сортовой стан, на котором намечается прокатка неравнобокого угольника № 9/6, — линейного типа, расположенный в две линии.

Первая обжимная линия состоит из одной трехвалковой клетки. Номинальный диаметр валков $D = 550$ мм, длина бочки $l_0 = 1800$ мм, диаметр шеек $d = 300$ мм и длина шеек $l_{\text{ш}} = 360$ мм. Валки обжимной клетки стальные, приводятся в движение асинхронным электромотором мощностью $N_n = 1350$ л. с. через канатную передачу; число оборотов валков 100 в минуту.

Чистовая линия стана состоит из двух подготовительных трехвалковых клеток и одной чистовой двухвалковой клетки. Номинальный диаметр валков клеток чистовой линии $D = 450$ мм, длина бочки валков подготовительных клеток $l_0 = 1350$ мм и чистовой клетки $l_0 = 600$ мм, диаметр шеек $d = 260$ мм и длина шеек $l_{\text{ш}} = 260$ мм. Валки подготовительных клеток стальные или чугунные, чистовой клетки — чугунные.

Чистовая линия приводится в движение через редуктор асинхронным электромотором мощностью $N_n = 1600$ л. с. с числом оборотов 570 в минуту, число оборотов валков 120 в минуту.

Интенсивность деформации при прокатке сортовых профилей на среднесортных и мелкосортных станах редко лимитируется мощностью мотора привода и чаще всего устанавливается из

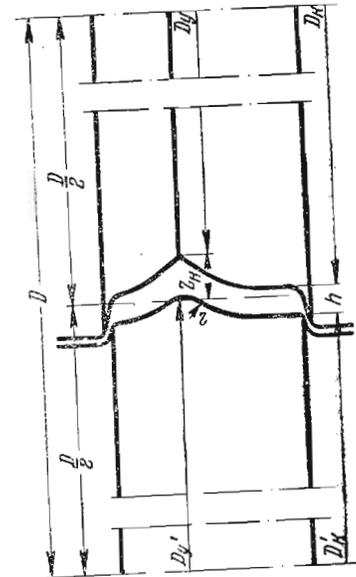


Рис. 45. Катающие диаметры валков по ручьям развернутого неравнобокого углового калибра.

условия обеспечения достаточно высокой стойкости валков на износ с последующей проверкой прочности валков по наиболее нагруженным калибрам.

27. Расчет калибровочных данных

Размеры заданного к получению неравнобокого угольника № 9/6 соответствуют ОСТ 10015—39, при этом:

Ширина малой полки $b'_M = 60$ мм
 » большой » $b'_B = 90$ мм.

Допускаемые отклонения в размерах по ширине полок $v_{ш} = \pm 1,5$ мм.

Толщина полок каждого из трех типоразмеров уголка:

$$h'_I = 6 \text{ мм}, \quad h'_{II} = 8 \text{ мм} \text{ и } h'_{III} = 10 \text{ мм}.$$

Допускаемые отклонения в размерах по толщине полок $v_T = \pm 0,7$ мм.

Радиусы закругления на стыке и по краям полок: $r' = 9$ мм
 и $r'_R = 3$ мм.

Площадь поперечного сечения каждого из трех типоразмеров уголка:

$$q'_I = 878 \text{ мм}^2, \quad q'_{II} = 1150 \text{ мм}^2 \text{ и } q'_{III} = 1410 \text{ мм}^2.$$

Первый (чистовой) калибр и задаваемый в него раскат

1. Ширина малой полки (3.1):

$$b_M = \lambda_t (b'_M - v_{ш}) = 1,012 (60 - 1,5) = 59,2 \text{ мм}.$$

2. Ширина большой полки (3.2):

$$b_B = \lambda_t (b'_B - v_{ш}) = 1,012 (90 - 1,5) = 89,6 \text{ мм}.$$

3. Толщина полок каждого из трех заданных к получению типоразмеров угольника (2.2), мм:

$$h_I = \lambda_t (h'_I - v_T) = 1,012 (6 - 0,7) = 5,4;$$

$$h_{II} = \lambda_t (h'_{II} - v_T) = 1,012 (8 - 0,7) = 7,4;$$

$$h_{III} = \lambda_t (h'_{III} - v_T) = 1,012 (10 - 0,7) = 9,4.$$

4. Радиус закругления на стыке полок (2.3):

$$r = \lambda_t r' = 1,012 \cdot 9 = 9,1 \text{ мм}.$$

5. Радиус закругления по краям полок (2.4):

$$r_R = \lambda_t r'_R = 1,012 \cdot 3 \approx 3 \text{ мм}.$$

6. Угол закрытия малой полки (3.4):

$$\alpha_M = \arctg \frac{b_B}{b_M} = \arctg \frac{89,6}{59,2} = 56^\circ 30'.$$

7. Угол закрытия большой полки (3.6):

$$\alpha_B = 90 - \alpha_M = 90 - 56^\circ 30' = 33^\circ 30'.$$

8. Ширина матричного ручья (3.7):

$$Ш_p = 1,2 (b_M \cos \alpha_M + b_B \cos \alpha_B) = 1,2 (59,2 \cdot 0,552 + 89,6 \cdot 0,834) = 129 \text{ мм}.$$

9. Глубина (высота) матричного ручья (3.8):

$$Г_p = 1,2 b_M \sin \alpha_M = 1,2 \cdot 59,2 \cdot 0,834 = 59,2 \text{ мм}.$$

10. Номинальная толщина полок угольника (2.8):

$$h = \sqrt[n]{h_I h_{II} \dots h_n} = \sqrt[3]{5,4 \cdot 7,4 \cdot 9,4} = 7,2 \text{ мм}.$$

11. Номинальная площадь поперечного сечения угольника (3.3):

$$q = h (b_M + b_B - h) = 7,2 (59,2 + 89,6 - 7,2) = 1020 \text{ мм}^2.$$

12. Средняя толщина неравнобокого углового профиля (3.10):

$$h_c = \frac{q}{(b_M - 0,5 h) \cos \alpha_M + (b_B - 0,5 h) \cos \alpha_B} = \frac{1020}{(59,2 - 0,5 \cdot 7,2) 0,552 + (89,6 - 0,5 \cdot 7,2) 0,834} = 10 \text{ мм}.$$

13. При коэффициенте обжатия $\lambda = 1,20$ толщина полок раската до пропуска (2.10):

$$H = \lambda h = 1,20 \cdot 7,2 = 8,6 \text{ мм}.$$

14. Средняя толщина неравнобокого углового раската до пропуска (2.10):

$$H_c = \lambda h_c = 1,20 \cdot 10 = 12 \text{ мм}.$$

15. Обжатие полок за пропуск (2.11):

$$\Delta h = H - h = 8,6 - 7,2 = 1,4 \text{ мм}.$$

16. Среднее обжатие неравнобокого углового раската за пропуск (1.23):

$$\Delta h_c = H_c - h_c = 12 - 10 = 2 \text{ мм}.$$

17. Средний катающий радиус валков по калибру (1.26):

$$R_c = 0,5(D - h_c) = 0,5(450 - 10) = 220 \text{ мм.}$$

18. Угол захвата по среднему обжатию (2.13):

$$\alpha_c = \sqrt{\frac{\Delta h_c}{R_c}} = \sqrt{\frac{2}{220}} = 0,095 \text{ рад.}$$

19. При температуре металла за пропуск $t_1 \approx 860^\circ$ коэффициент трения металла о чугунные валки (1.39):

$$f = 0,8(1,05 - 0,0005 t) = 0,8(1,05 - 0,0005 \cdot 860) = 0,496.$$

20. При отношении $\frac{\alpha_c}{f} = \frac{0,095}{0,496} = 0,192$ коэффициент формулы уширения Бахтинова $C_z = 0,47$ и уширение каждой полки (2.12)

$$Z = C_z \sqrt{\frac{R_c \Delta h_c^2}{H_c^2}} = 0,47 \sqrt{\frac{220 \cdot 2^2}{12^2}} = 1,6 \text{ мм.}$$

21. Ширина спрямленных полок неравнобокого углового раската, задаваемого в чистовой калибр — малой полки (3.12):

$$B_M = b_M - Z = 59,2 - 1,6 = 57,6 \text{ мм,}$$

большой полки (3.13):

$$B_6 = b_6 - Z = 89,6 - 1,6 = 88 \text{ мм.}$$

22. Площадь поперечного сечения неравнобокого углового раската, задаваемого в чистовой калибр (3.14):

$$Q = H(B_M + B_6 - H) = 8,6(57,6 + 88 - 8,6) = 1180 \text{ мм}^2.$$

23. Коэффициент вытяжки за пропуск (2.16):

$$\mu = \frac{Q}{q} = \frac{1180}{1020} = 1,157.$$

24. Ордината нейтральной линии калибра от верхней базы (3.32):

$$Z_H = \frac{(b_M^2 + b_6^2) \cos \alpha_M \cos \alpha_6 + h(b_M + b_6 - h)}{2[(b_M - 0,5h) \cos \alpha_M + (b_6 - 0,5h) \cos \alpha_6]} =$$

$$= \frac{(59,2^2 + 89,6^2) 0,552 \cdot 0,834 + 7,2(59,2 + 89,6 - 7,2)}{2[(59,2 - 0,5 \cdot 7,2) 0,552 + (89,6 - 0,5 \cdot 7,2) 0,834]} = 31 \text{ мм.}$$

25. Катающие диаметры верхнего (матричного) ручья — по наружной вершине угла калибра (2.58):

$$D'_y = D - 2Z_H = 450 - 2 \cdot 31 = 338 \text{ мм.}$$

По краям ручья (2.60):

$$D_K = D_y + 2\Gamma_p = 338 + 2 \cdot 59,2 = 506,4 \text{ мм.}$$

26. Катающие диаметры нижнего (патричного) ручья — по внутренней вершине угла калибра (2.59):

$$D'_y = 2 \left[D + r - \frac{(h+r) \cos \frac{\alpha_M - \alpha_6}{2}}{\cos \frac{\alpha_M + \alpha_6}{2}} \right] - D_y =$$

$$= 2 \left[450 + 9,1 - \frac{(7,2 + 9,1) 0,966}{0,707} \right] - 338 = 485,6 \text{ мм.}$$

При зазоре между валками (2.62) $z = 4$ мм катающий диаметр по краям ручья (2.61):

$$D'_K = 2(D - z) - D_K = 2(450 - 4) - 506,4 = 385,6 \text{ мм.}$$

Второй (предчистовой) калибр и задаваемый в него раскат

Ширина спрямленной малой полки предчистового неравнобокого углового профилля:

$$B_M = 57,6 \text{ мм.}$$

Ширина спрямленной большой полки:

$$B_6 = 88 \text{ мм.}$$

Толщина полок:

$$h = 8,6 \text{ мм.}$$

Угол закрытия полок предчистового калибра:

$$\alpha = 45^\circ \text{ или } \alpha = 0,785 \text{ рад.}$$

1. Ширина малой полки по наружной кромке развернутого предчистового калибра (3.17):

$$b_M = B_M - 0,5h\alpha = 57,6 - 0,5 \cdot 8,6 \cdot 0,785 = 54,2 \text{ мм.}$$

2. Ширина большой полки (3.18):

$$b_6 = B_6 - 0,5h\alpha = 88 - 0,5 \cdot 8,6 \cdot 0,785 = 84,6 \text{ мм.}$$

3. Горизонтальный участок большой полки (3.19):

$$b_T = b_6 - b_M = 84,6 - 54,2 = 30,4 \text{ мм.}$$

4. Горизонтальная проекция малой полки (3.21):

$$b_{M_x} = C_{ш} b = 0,804 \cdot 54,2 = 43,6 \text{ мм.}$$

5. Горизонтальная проекция большой полки (3.23):

$$b_{6x} = b_{mx} + b_{\Gamma} = 43,6 + 30,4 = 74 \text{ мм.}$$

6. Ширина калибра (3.21), (3.23):

$$ш = b_{mx} + b_{6x} = 43,6 + 74 = 117,6 \text{ мм.}$$

7. Вертикальная проекция малой (и большой) полки (3.24):

$$b_{my} = C_B b_M = 0,540 \cdot 54,2 = 29,2 \text{ мм.}$$

8. Малый радиус кривизны полок (3.16):

$$R_M = \frac{0,5b_M}{\alpha} = \frac{0,5 \cdot 54,2}{0,785} = 34,5 \text{ мм.}$$

9. Большой радиус кривизны полок (2.27):

$$R_6 = R_M + h = 34,5 + 8,6 = 43,1 \text{ мм.}$$

10. Радиус закругления на стыке полок (2.28):

$$r_2 = \lambda_1 r_1 = 1,20 \cdot 9,1 \approx 11 \text{ мм.}$$

11. Радиус закругления по краям полок на дне матричного ручья:

$$r_{K2} = 2 \text{ мм.}$$

12. Выпуск матричного ручья (2.33):

$$i = 0,04.$$

13. Площадь предчистового развернутого калибра (3.25):

$$q = h [b_M + b_6 - h (\operatorname{tg} \alpha - \alpha)] = 8,6 [54,2 + 84,6 - 8,6 (1 - 0,785)] = 1180 \text{ мм}^2.$$

14. Средняя высота предчистового калибра (1.25):

$$h_c = \frac{q}{ш} = \frac{1180}{117,6} = 10 \text{ мм.}$$

15. При коэффициенте обжатия $\lambda = 1,40$ толщина полок раската до пропуска (2.10):

$$H = \lambda h = 1,40 \cdot 8,6 = 12 \text{ мм.}$$

16. Средняя толщина неравнобокого углового раската до пропуска (2.10):

$$H_c = \lambda h_c = 1,40 \cdot 10 = 14 \text{ мм.}$$

17. Обжатие полок за пропуск (2.11):

$$\Delta h = H - h = 12 - 8,6 = 3,4 \text{ мм.}$$

18. Среднее обжатие неравнобокого углового раската за пропуск (1.23):

$$\Delta h_c = H_c - h_c = 14 - 10 = 4 \text{ мм.}$$

19. Средний катающий радиус валков по калибру (1.26):

$$R_c = 0,5 (D - h_c) = 0,5 (450 - 10) = 220 \text{ мм.}$$

20. Угол захвата по среднему обжатию (2.13):

$$\alpha_c = \sqrt{\frac{\Delta h_c}{R_c}} = \sqrt{\frac{4}{220}} = 0,135 \text{ рад.}$$

21. Температура металла за пропуск

$$t_2 = t_1 + \Delta t_1 = 860 + 40 = 900^\circ.$$

22. Коэффициент трения металла о чугунные валки (1.39):

$$f = 0,8 (1,05 - 0,0005 t) = 0,8 (1,05 - 0,0005 \cdot 900) = 0,480.$$

23. При отношении $\frac{\alpha_c}{f} = \frac{0,135}{0,480} = 0,282$ коэффициент формулы уширения Бахтинова $C_z = 0,45$ и возможное уширение каждой полки за пропуск (2.12):

$$Z = C_z \sqrt{\frac{R_c \Delta h_c^2}{H_c^2}} = 0,45 \sqrt{\frac{220 \cdot 4^2}{14^2}} = 4,5 \text{ мм.}$$

24. Приращение горизонтальной проекции полки (2.34):

$$\Delta b_x = 0,5 H i = 0,5 \cdot 12 \cdot 0,10 = 0,6 \text{ мм.}$$

25. Горизонтальная проекция малой полки задаваемого в предчистовой калибр раската (3.26):

$$B_{mx} = b_{mx} - \Delta b_x = 43,6 - 0,6 = 43 \text{ мм.}$$

26. Горизонтальная проекция большой полки задаваемого в предчистовой калибр раската (3.27):

$$B_{6x} = b_{6x} - \Delta b_x = 74 - 0,6 = 73,4 \text{ мм.}$$

27. Ширина малой полки неравнобокого углового раската до пропуска (3.28):

$$B_M = \frac{B_{mx}}{C_{ш}} = \frac{43}{0,844} = 50,8 \text{ мм.}$$

28. Ширина большой полки неравнобокого углового раската до пропуска (3.29):

$$B_6 = B_M + b_{\Gamma} = 50,8 + 30,4 = 81,2 \text{ мм.}$$

29. Приращение ширины малой полки за пропуск, допускаемое размерами калибра (2.38):

$$\Delta b_M = b_M - B_M = 54,2 - 50,8 = 3,4 \text{ мм.}$$

Точно так же по большой полке (2.38):

$$\Delta b_6 = b_6 - B_6 = 84,6 - 81,2 = 3,4 \text{ мм.}$$

Как видно, отношение $\frac{\Delta b}{Z} < 1$, и калибр должен заполняться металлом.

30. Площадь поперечного сечения неравнобокого углового раската до пропуска (3.30):

$$Q = H [B_M + B_6 - H (\operatorname{tg} \alpha - \alpha)] = 12 [50,8 + 81,2 - 12 (0,839 - 0,698)] = 1563 \text{ мм}^2.$$

31. Коэффициент вытяжки за пропуск (2.16):

$$\mu = \frac{Q}{q} = \frac{1563}{1180} = 1,325.$$

32. Ордината нейтральной линии калибра от верхней базы (3.33):

$$Z_H = \frac{C_H b_M^2 + 0,5 [2 C_B b_M b_T + h (b_M + b_6)]}{b_{Mx} + b_{6x}} = \frac{0,558 \cdot 54,2^2 + 0,5 [2 \cdot 0,54 \cdot 54,2 \cdot 30,4 + 8,6 (54,2 + 84,6)]}{43,6 + 74} = 26,6 \text{ мм.}$$

33. Катающие диаметры верхнего ручья — по внешней вершине угла калибра (2.63):

$$D_y = D - 2 Z_H = 450 - 2 \cdot 26,6 \approx 397 \text{ мм;}$$

по краям полок (2.67):

$$D_R = D_y + 2 C_B b_M = 397 + 2 \cdot 0,54 \cdot 54,2 = 455,5 \text{ мм.}$$

34. Катающие диаметры нижнего ручья — по внутренней вершине угла калибра (2.68):

$$D'_y = 2 \left(D + r - \frac{h+r}{\cos \alpha} \right) - D_y = 2 \left(450 + 11 - \frac{8,6 + 11}{0,707} \right) - 397 = 469,6 \text{ мм;}$$

по краям полок (2.70):

$$D'_R = 2 (D - h) - D_R = 2 (450 - 8,6) - 455,5 = 427,3 \text{ мм.}$$

Третий калибр и задаваемый в него раскат

Угол закрытия полок калибра:

$$\alpha = 40^\circ \text{ или } \alpha = 0,698 \text{ рад.}$$

Ширина малой и большой полки калибра:

$$b_M = 50,8 \text{ и } b_6 = 81,2 \text{ мм.}$$

Толщина полок:

$$h = 12 \text{ мм.}$$

Горизонтальные проекции малой и большой полок калибра:

$$b_{Mx} = 43 \text{ мм и } b_{6x} = 73,4 \text{ мм.}$$

Ширина калибра:

$$ш = 116,4 \text{ мм.}$$

Площадь калибра:

$$q = 1614 \text{ мм}^2.$$

1. Вертикальная проекция малой (и большой) полки калибра (3.24):

$$b_{My} = C_B b_M = 0,489 \cdot 50,8 = 24,9 \text{ мм.}$$

2. Малый радиус кривизны полок (3.16):

$$R_M = \frac{0,5 b_M}{\alpha} = \frac{0,5 \cdot 50,8}{0,698} = 36,4 \text{ мм.}$$

3. Большой радиус кривизны полок (2.27):

$$R_6 = R_M + h = 36,4 + 12 = 48,4 \text{ мм.}$$

4. Радиус закругления на стыке полок (2.29):

$$r = h = 12 \text{ мм.}$$

5. Радиус закругления по краям полок на дне матричного ручья (2.31):

$$r_H = 0,5 h = 0,5 \cdot 12 = 6 \text{ мм.}$$

6. Выпуск матричного ручья (2.33):

$$i = 0,10.$$

7. Средняя высота калибра (1.25):

$$h_c = \frac{q}{ш} = \frac{1563}{116,4} = 13,4 \text{ мм.}$$

8. При коэффициенте обжатия $\lambda = 1,70$ толщина полок раската до пропуска (2.10):

$$H = \lambda h = 1,70 \cdot 12 = 20,4 \text{ мм.}$$

9. Средняя толщина раската до пропуска (2.10):

$$H_c = \lambda h_c = 1,70 \cdot 13,4 = 22,8 \text{ мм.}$$

10. Обжатие полок за пропуск (2.11):

$$\Delta h = H - h = 20,4 - 12 = 8,4 \text{ мм.}$$

11. Среднее обжатие раската за пропуск (1.23):

$$\Delta h_c = H_c - h_c = 22,8 - 13,4 = 9,4 \text{ мм.}$$

12. Средний катающий радиус валков по калибру (1.26):

$$R_c = 0,5 (D - h_c) = 0,5 (450 - 13,4) = 218 \text{ мм.}$$

13. Угол захвата по среднему обжатию (2.13):

$$\alpha_c = \sqrt{\frac{\Delta h_c}{R_c}} = \sqrt{\frac{9,4}{218}} = 0,207 \text{ рад.}$$

14. Температура металла за пропуск:

$$t_3 = t_2 + \Delta t_2 = 900 + 40 = 940^\circ.$$

15. Коэффициент трения металла о стальные валки (1.38):

$$f = 1,05 - 0,0005 t = 1,05 - 0,0005 \cdot 940 = 0,580.$$

16. При отношении $\frac{\alpha_c}{f} = \frac{0,207}{0,580} = 0,357$ коэффициент формулы уширения Бахтина $C_z = 0,44$ и возможное уширение каждой полки за пропуск (2.12):

$$Z = C_z \sqrt{\frac{R_c \Delta h_c^3}{H_c^2}} = 0,44 \sqrt{\frac{218 \cdot 9,4^3}{22,8^2}} = 8 \text{ мм.}$$

17. Приращение горизонтальной проекции полки (2.34):

$$\Delta b_x = 0,5 H i = 0,5 \cdot 20,4 \cdot 0,10 \approx 1 \text{ мм.}$$

18. Горизонтальная проекция малой полки задаваемого в калибр раската (3.26):

$$B_{mx} = b_{mx} - \Delta b_x = 43 - 1 = 42 \text{ мм.}$$

19. Горизонтальная проекция большой полки задаваемого в калибр раската (3.27):

$$B_{bx} = b_{bx} - \Delta b_x = 73,4 - 1 = 72,4 \text{ мм.}$$

20. Ширина малой полки раската до пропуска (3.28):

$$B_M = \frac{B_{mx}}{C_{ш}} = \frac{42}{0,899} = 46,7 \text{ мм.}$$

21. Ширина большой полки раската до пропуска (3.29):

$$B_0 = B_M + b_r = 46,7 + 30,4 = 77,1 \text{ мм.}$$

22. Приращение малой полки за пропуск, допускаемое размерами калибра (2.38):

$$\Delta b_M = b_M - B_M = 50,8 - 46,7 = 4,1 \text{ мм.}$$

Точно так же по большой полке (2.38):

$$\Delta b_0 = b_0 - B_0 = 81,2 - 77,1 = 4,1 \text{ мм.}$$

Как видно, отношение $\frac{\Delta b}{Z} < 1$, и калибр должен заполняться металлом.

23. Площадь поперечного сечения раската до пропуска (3.30):

$$Q = H [B_M + B_0 - H (\operatorname{tg} \alpha - \alpha)] = 20,4 [45,7 + 77,1 - 20,4 (0,625 - 0,558)] = 2500 \text{ мм}^2.$$

24. Коэффициент вытяжки за пропуск (2.16):

$$\mu = \frac{Q}{q} = \frac{2500}{1563} = 1,600.$$

25. Ордината нейтральной линии калибра от верхней базы (3.33):

$$Z_H = \frac{C_H b_M^2 + 0,5 [2 C_B b_M b_r + h (b_M + b_0)]}{b_{Mx} + b_{0x}} = \frac{0,525 \cdot 50,8^2 + 0,5 [2 \cdot 0,489 \cdot 50,8 \cdot 30,4 + 12 (50,8 + 81,2)]}{43 + 73,4} = 24,9 \text{ мм.}$$

26. Катающие диаметры верхнего ручья — по внешней вершине угла калибра (2.63):

$$D_y = D - 2 Z_H = 450 - 2 \cdot 24,9 \approx 400 \text{ мм;}$$

по краям полок (2.67):

$$D_K = D_y - 2 C_B b = 400 + 2 \cdot 0,459 \cdot 50,8 = 449,8 \text{ мм.}$$

27. Катающие диаметры нижнего ручья — по внутренней вершине угла калибра (2.68):

$$D'_y = 2 \left(D + r - \frac{h+r}{\cos \gamma} \right) - D_y = 2 \left(450 + 12 - \frac{12+12}{0,766} \right) - 400 = 461,4 \text{ мм;}$$

по краям полок (2.70):

$$D'_K = 2 (D - h) - D_K = 2 (450 - 12) - 449,8 = 426,2 \text{ мм.}$$

Так как расчет всех последующих развернутых неравнобоких угловых калибров выполняется таким же образом, как и расчет третьего калибра, то не повторяя вычислений, готовые результаты по этим калибрам (рис. 46 и 47) приводим в табл. 13.

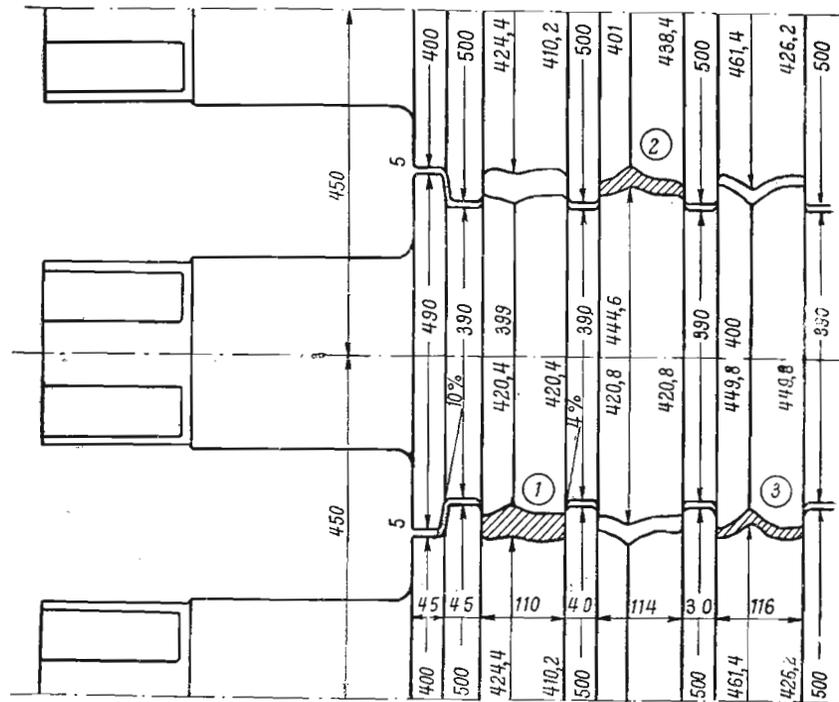


Рис. 47. Рабочие валки трехвалкового стана для прокатки неравнобокого угольника № 9/6 (принцип монтажа калибров и конструирования ручьев, буртов и замков).

28. Определение размеров заготовки

Высота прямоугольной заготовки, задаваемой в первый по ходу прокатки (или пятый по ходу расчета) угловой калибр, составит

$$H_0 \approx 60 \text{ мм},$$

а ширина заготовки (3.31):

$$B_0 = b_{mx} + b_{bx} - Z = 40 + 70,4 - 11 \approx 100 \text{ мм}.$$

Площадь поперечного сечения заготовки (2.42):

$$Q_0 = H_0 B_0 = 60 \cdot 100 = 6000 \text{ мм}^2.$$

29. Проверка условий захвата металла валками

Если установить вспомогательный угол калибра (2.69):

$$\alpha'' = \arcsin \left(\frac{b_{mx}}{R_M + h + r} \right) = \arcsin \left(\frac{40}{59,7 + 34,7 + 35} \right) = 18^\circ < \alpha,$$

то угол захвата по первому пропуску (2.72):

$$\alpha_3 = 2 \arcsin \sqrt{\frac{H_0 + C_B b + r - \frac{h + r}{\cos \alpha''}}{D_K + D'_y}} =$$

$$= 2 \arcsin \sqrt{\frac{60 + 0,258 \cdot 41,7 + 35 - \frac{34,7 + 35}{0,951}}{420,4 + 424,4}} = 22^\circ 40'$$

При скорости прокатки

$$v = \frac{2\pi R_c n}{60} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 0,207 \cdot 120}{60} = 2,6 \text{ м/сек}$$

угол захвата в $22^\circ 40'$ допустим при наличии на валках негрубой насечки по захватывающим участкам ручьев.

30. Проверка прочности валков

1. Положение прямоугольной заготовки по отношению к нейтральной линии калибра при задаче в первый угловой калибр устанавливается ординатой (1.53):

$$z_0 = 0,5 (D - H_0) = 0,5 (450 - 60) = 195 \text{ мм}.$$

2. Контактная поверхность металла с валком на прямых участках полок (1.50):

$$F'_x = \frac{1}{4 \operatorname{tg} \alpha} \left\{ (D_y + b \sin \alpha) \sqrt{(D_y + b \sin \alpha)^2 - 4 z_0^2} - \right.$$

$$\left. - D_y \sqrt{D_y^2 - 4 z_0^2} - 4 z_0^2 \ln \left[\frac{D_y + b \sin \alpha + \sqrt{(D_y + b \sin \alpha)^2 - 4 z_0^2}}{D_y + \sqrt{D_y^2 - 4 z_0^2}} \right] \right\} =$$

$$= \frac{1}{4 \cdot 0,364} \left\{ (399 + 41,7 \cdot 0,342) \sqrt{(399 + 41,7 \cdot 0,342)^2 - 4 \cdot 195^2} - \right.$$

$$\left. - 399 \sqrt{399^2 - 4 \cdot 195^2} - 4 \cdot 195^2 \ln \left[\frac{399 + 41,7 \cdot 0,342 + \sqrt{(399 + 41,7 \cdot 0,342)^2 - 4 \cdot 195^2}}{399 + \sqrt{399^2 - 4 \cdot 195^2}} \right] \right\} =$$

$$= 2310 \text{ мм}^2.$$

3. Контактная поверхность металла с валком на развернутых участках полок (1.51):

$$F_x'' = \frac{1}{4 \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}} \left\{ D_K \sqrt{D_K^2 - 4z_0^2} - (D_y + b \sin \alpha) \times \right. \\ \left. \times \sqrt{(D_y + b \sin \alpha)^2 - 4z_0^2} - \right. \\ \left. - 4z_0^2 \ln \left[\frac{D_K + \sqrt{D_K^2 - 4z_0^2}}{D_y + b \sin \alpha + \sqrt{(D_y + b \sin \alpha)^2 - 4z_0^2}} \right] \right\} = \\ = \frac{1}{4 \cdot 0,176} \left\{ 420,4 \sqrt{420,4^2 - 4 \cdot 195^2} - (399 + 41,7 \cdot 0,342) \times \right. \\ \left. \times \sqrt{(399 + 41,7 \cdot 0,342)^2 - 4 \cdot 195^2} - 4 \cdot 195^2 \times \right. \\ \left. \times \ln \left[\frac{420,4 + \sqrt{420,4^2 - 4 \cdot 195^2}}{399 + 41,7 \cdot 0,342 + \sqrt{(399 + 41,7 \cdot 0,342)^2 - 4 \cdot 195^2}} \right] \right\} = 2930 \text{ мм}^2$$

4. Контактная поверхность металла с валком на горизонтальном участке большой полки (1.54):

$$F_x''' = 0,5 b_r D_K \sin \left(2 \arcsin \sqrt{\frac{0,5 H_0 + b_y - Z_H}{D_K}} \right) = \\ = 0,5 \cdot 30,4 \cdot 420,4 \sin \left(2 \arcsin \sqrt{\frac{0,5 \cdot 60 + 10,7 - 25,4}{420,4}} \right) = \\ = 2395 \text{ мм}^2.$$

5. Полная контактная поверхность металла с валком (1.55):

$$F_x = F_x' + F_x'' + F_x''' = 2310 + 2930 + 2395 = 7635 \text{ мм}^2.$$

Полная контактная поверхность металла с валком, определяемая через среднее обжатие (1.22):

$$F = \psi \sqrt{R_c \Delta h_c} = 110,4 \sqrt{207 \cdot 24,4} = 7850 \text{ мм}^2,$$

весьма мало отличается от поверхности, определяемой по элементам. Очевидно, для неравнобоких угловых калибров полную контактную поверхность металла с валками можно определить достаточно точно как по элементам (1.50), (1.51) и (1.54), так и упрощенно (1.22).

6. Удельное сопротивление стали (Ст. 2) при статическом сжатии (1.40):

$$k = (14 - 0,01t) (1,4 + C + Mn + 0,3Cr) = \\ = (14 - 0,01 \cdot 1020) (1,4 + 0,09 + 0,60) = 7,95 \text{ кг/мм}^2.$$

7. При коэффициенте (1.27)

$$\delta = f \sqrt{\frac{4R_c}{\Delta h_c}} = 0,540 \sqrt{\frac{4 \cdot 207}{24,4}} = 3,14$$

и относительном обжатии (1.28)

$$\epsilon_H = \frac{\Delta h_c}{H_c} = \frac{24,4}{60} = 0,407$$

по кривым Целикова (см. рис. 5) устанавливаем значение коэффициента напряженного состояния

$$\left| \frac{p}{k} \right| = 1,5$$

и определяем среднее удельное давление (1.29):

$$p = k \left| \frac{p}{k} \right| = 7,95 \cdot 1,5 = 11,9 \text{ кг/мм}^2.$$

8. Полное давление металла на валок (1.21):

$$P = p F_x = 11,9 \cdot 7635 = 90900 \text{ кг}.$$

9. Имея в виду, что первый по ходу прокатки угловой калибр может быть расположен на валках после прямоугольного калибра шириной $\sim 100 \text{ мм}$, и учитывая при этом ширину двух буртов (см. рис. 47), установим положение этого углового калибра на бочке валков от точки опоры по шейке валка на расстоянии $\sim 450 \text{ мм}$.

Тогда изгибающий момент на бочке валка (1.19):

$$M_6 = P \left(\frac{\Gamma D}{\Gamma + D} - \frac{\psi}{8} \right) = 90900 \left(\frac{116 \cdot 45}{161} - \frac{11}{8} \right) = \\ = 2820000 \text{ кг} \cdot \text{см}.$$

10. Изгибающий момент по шейке валка (1.20):

$$M_{\psi} = \frac{P l_{\psi} \Gamma}{2(\Gamma + D)} = \frac{90900 \cdot 26 \cdot 116}{2 \cdot 161} = 852000 \text{ кг} \cdot \text{см}.$$

11. Так как диаметр валков уменьшается вследствие переточек на 10%, напряжение изгиба по бочке валка (1.42):

$$\sigma_6 = \frac{M_6}{0,1 \cdot 0,9^3 D_y^3} = \frac{2820000}{0,1 \cdot 0,9^3 \cdot 39,9^3} = 610 \text{ кг/см}^2.$$

Расчетные показатели калибровки неравнобокого угольника № 6/4

№ калибра	α°	h _{М.М.}	λ	H _{М.М.}	Δh _{М.М.}	b _{М.М.}	b_x _{М.М.}	q _{М.М.²}	Q _{М.М.²}	ρ	R _{М.М.}	b_y _{М.М.}	b_T _{М.М.}	b_B _{М.М.}
4	$33^\circ 20'$ $56^\circ 40'$	5,6	1,25	7,0	1,4	39,0	—	518	623	1,203	—	—	—	59,2
3	45	7,0	1,40	9,8	2,8	35,2	28,3	623	856	1,373	22,5	19,0	20,2	—
2	45	9,8	1,25	12,2	2,4	34,6	27,8	856	1350	1,578	22,1	18,7	20,2	—
1	45	12,2	—	—	—	—	26,8	1350	2166	1,603	11,3	22,2	—	—
											17,0	33,3		

Примечание. Заготовка задается по диагонали.

Расчетные показатели калибровки неравнобокого угольника № 15/10 (зигзагообразный стан 500)

№ калибра	α°	h _{М.М.}	λ	H _{М.М.}	Δh _{М.М.}	b _{М.М.}	b_x _{М.М.}	q _{М.М.²}	Q _{М.М.²}	ρ	R _{М.М.}	b_y _{М.М.}	b_T _{М.М.}	b_B _{М.М.}
6	$33^\circ 30'$	12,1	1,15	13,9	1,8	99,2	—	2870	3250	1,134	—	—	—	150
5	45	13,9	1,30	18,1	4,2	93,9	75,5	3250	4200	1,290	59,9	50,7	50,8	—
4	45	18,1	1,60	29,0	10,9	92,6	74,5	4200	6620	1,577	59,0	50,0	50,8	—
3	40	29,0	1,60	46,4	17,4	86,5	73,0	6620	10400	1,572	62,0	42,3	50,8	—
2	32	46,4	1,60	74,3	27,9	71,0	10400	16100	16100	1,548	70,8	31,8	50,8	—
1	20	74,3	1,60	119,0	44,7	67,0	16100	21400	21400	1,330	100,0	18,0	50,8	—

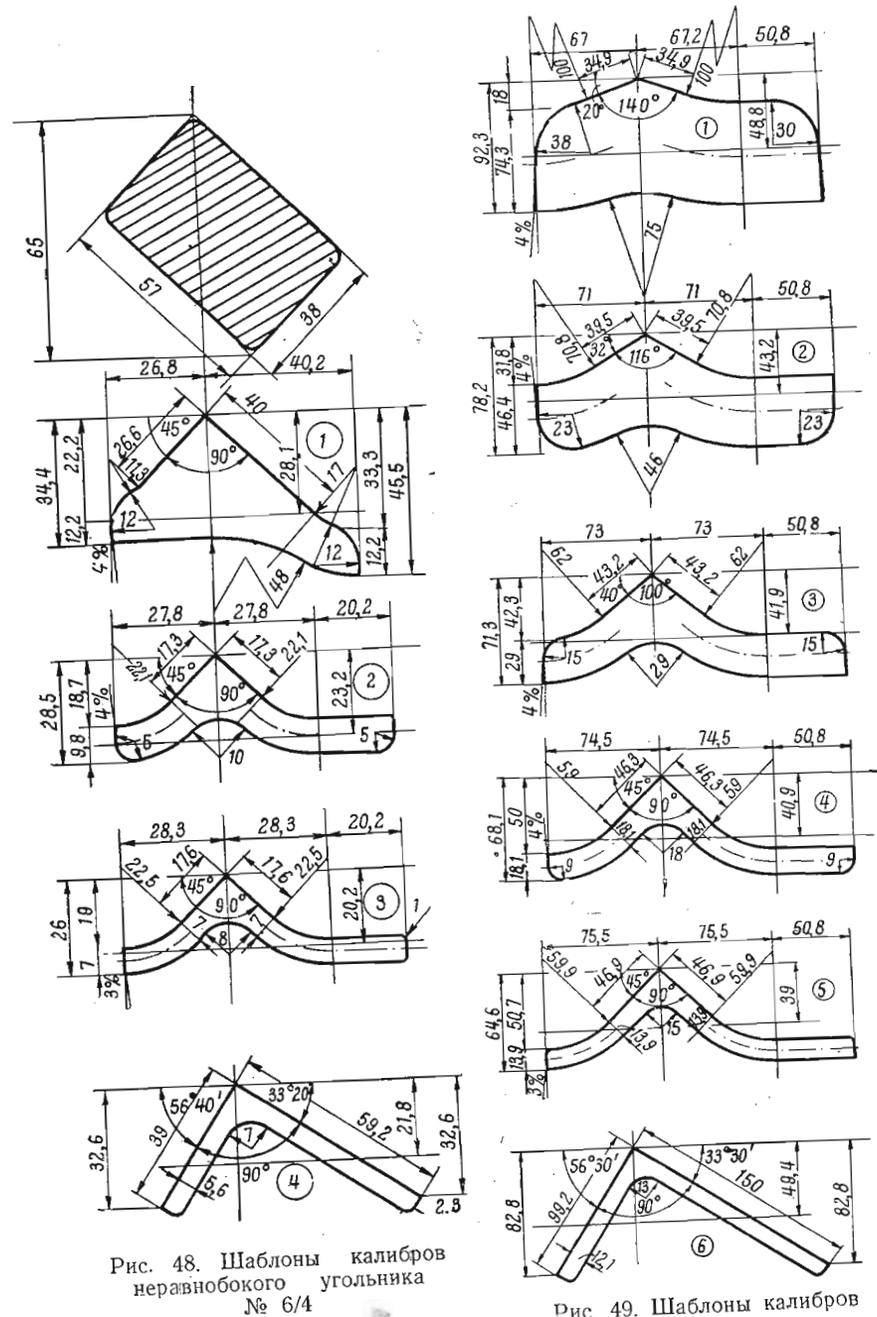


Рис. 48. Шаблоны калибров неравнобокого угольника № 6/4

Рис. 49. Шаблоны калибров неравнобокого угольника № 15/10

12. Напряжения изгиба в шейках валков (1.43):

$$\sigma_{ш} = \frac{M_{ш}}{0,1 d^3} = \frac{852000}{0,1 \cdot 26^3} = 485 \text{ кг/см}^2.$$

13. При крутящем моменте в шейках валков (1.11):

$$M = p_{ш} \Delta h_c R_c \left(1 + \frac{f_{ш} d}{\sqrt{R_c \Delta h_c}} \right) = 11,9 \cdot 110,4 \cdot 24,4 \times \\ \times 20,7 \left(1 + \frac{0,1 \cdot 260}{\sqrt{270 \cdot 24,4}} \right) = 908000 \text{ кг/см}$$

напряжения скручивания в шейках (1.44):

$$\tau_{ш} = \frac{M}{0,4 d^3} = \frac{908000}{0,4 \cdot 26^3} = 129 \text{ кг/см}^2.$$

14. Расчетное нормальное напряжение в шейках (1.45):

$$\sigma_p = \sqrt{\sigma_{ш}^2 + 3\tau_{ш}^2} = \sqrt{485^2 + 3 \cdot 129^2} = 533 \text{ кг/см}^2.$$

Как видно, напряжения изгиба по бочке валков и расчетные нормальные напряжения в шейках не превышают напряжений, допускаемых для стальных валков.

Для иллюстрации применимости изложенной методики калибровки и для других размеров неравнобоких угольников выполнена калибровка угольника № 6/4 (табл. 14 и рис. 48) и угольника № 15/10 (табл. 15 и рис. 49).

ГЛАВА ЧЕТВЕРТАЯ

КАЛИБРОВКА ПРАВИЛЬНЫХ ЗЕТОВЫХ ПРОФИЛЕЙ

Зетовый профиль является одним из распространенных катаных профилей, применяемых для различных строительных сооружений, в транспортном и сельскохозяйственном машиностроении, в судостроении и других отраслях промышленности. Зетовые профили характеризуются в основном высотой ножки, а также дополнительно шириной полки и толщиной всех или части элементов сечения; высота ножки зетовых профилей, катаемых в соответствии с Общесоюзным стандартом и вне его, колеблется от 25 до 310 мм, а в отдельных случаях может быть и выше. Для зетов применяются, главным образом, те же углеродистые марки стали, что и для таких массовых нормальных фасонных профилей как угольники, швеллеры, двутавровые балки и другие.

При калибровке зетовых профилей, подобно тому, как в изложенной нами ранее калибровке равнобоких и неравнобоких угольников, следует отвергнуть ложный принцип Жеза, по которому рекомендовалось снижение коэффициентов обжатия в подготовительных калибрах по ходу прокатки. Выполненный нами анализ связи коэффициентов обжатия с крутящим моментом прокатки с полной очевидностью показывает, что коэффициенты обжатия в подготовительных калибрах по ходу прокатки необходимо увеличивать или по крайней мере сохранять постоянными. Такой характер изменения коэффициентов обжатия в подготовительных фасонных зетовых калибрах обеспечивает равномерную загрузку и, следовательно, оптимальные условия работы станочного двигателя и наиболее интенсивный режим деформации металла при прокатке.

Ради удобства изложения методики калибровки зетовые профили следует подразделять на правильные зеты, неправильные зеты и зетообразные профили.

Правильным зетом будем называть такой профиль (рис. 50), полки которого по размерам одинаковы и равномерны по толщине; ножка также является по толщине равномерной, хотя может быть толще или тоньше полки. Неправильным зетом будем называть профиль (рис. 51 и 52), у которого полки по ширине

отличны одна от другой, но толщина их, так же как и ножки, равномерна. И, наконец, зетообразным профилем будем называть такой профиль, полки которого неодинаковы по ширине и

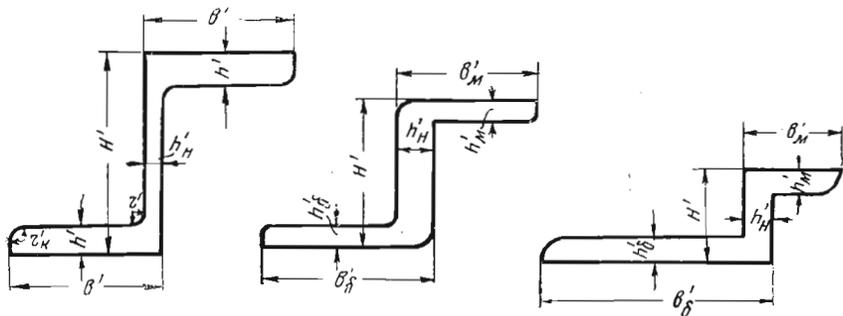


Рис. 50. Правильный зет

Рис. 51. Неправильный зет

Рис. 52. Неправильный зет

неравномерны по толщине. Толщина изменяется постепенно (рис. 53), или в виде различных нерезко выраженных выступов по одному какому-либо (рис. 54 и 55), или по нескольким элементам сечения одновременно.

Калибровка каждой группы зетовых профилей представляет свои особенности и поэтому следует рассматривать по степени сложности каждую группу в отдельности.

Общие соображения относительно выбора коэффициентов обжатия, углов закрытия по калибрам, проверки прочности валков

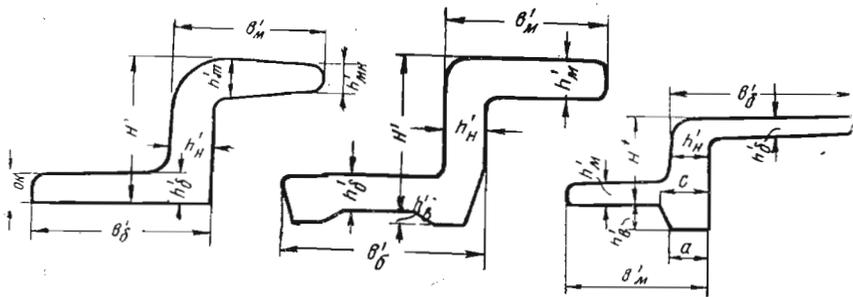


Рис. 53. Зетообразный профиль

Рис. 54. Зетообразный профиль

Рис. 55. Зетообразный профиль

и другие изложены в первой главе и здесь рассматриваются только специфические вопросы, относящиеся к калибровке правильных зетов.

1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ РАЗМЕРОВ И ПОСТРОЕНИЕ ПРАВИЛЬНЫХ ЗЕТОВЫХ КАЛИБРОВ

31. Чистой калибр и задаваемое в него сечение

По условиям заданы основные размеры зета в холодном состоянии (рис. 50):

b' — ширина полки;

h' — высота ножки;

$\gamma_{ш}$ — допускаемые отклонения по ширине полок и высоте ножки;

h' и h'_n — толщина полок и толщина ножки;

γ_t — допускаемые отклонения по толщине полок и ножки;

r' и r'_n — радиусы закругления на стыке полок с ножкой и по краям полок;

q' — площадь поперечного сечения зета в $мм^2$, по которым должны быть установлены размеры профиля в нагретом состоянии, а значит и основные размеры чистового калибра (рис. 56) с учетом допусков на минус.

Таким образом:

ширина полки чистового профиля в нагретом состоянии:

$$b = \lambda_t (b' - \gamma_{ш}); \quad (4.1)$$

высота ножки:

$$h = \lambda_t (h' - \gamma_{ш}); \quad (4.2)$$

толщина полок:

$$h = \lambda_t (h' - \gamma_t); \quad (4.3)$$

толщина ножки:

$$h_n = \lambda_t (h'_n - \gamma_t). \quad (4.4)$$

Радиусы закругления чистового профиля (2.3) и (2.4).

Площадь правильного чистового зетового калибра без учета закруглений:

$$q = 2h(b - h_n) + nh_n. \quad (4.5)$$

Чистовые зетовые калибры располагаются в валках так, что либо каждая полка составляет с горизонталью угол в 45° , либо сохраняются одинаковыми вертикальные проекции полок и ножки.

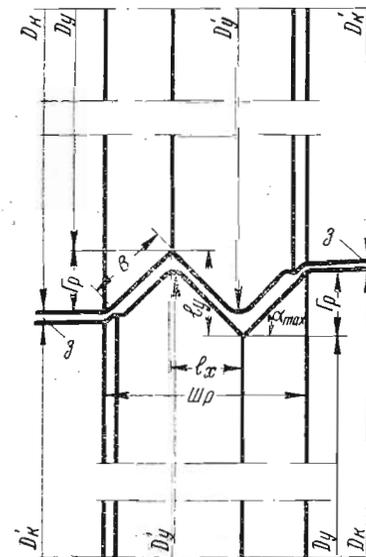


Рис. 56. Чистой калибр и задаваемое в него сечение

Недостатки первого расположения, при котором каждая полка с горизонтально образует угол в 45° , состоят в том, что калибры сильнее врезаются в валки и тем самым снижается прочность валков; помимо этого, сильнее выражена неравномерность окружной скорости валков в различных точках калибра, вследствие чего интенсивнее происходит износ калибров. Преимущество состоит в том, что и полки и ножка, будучи одинаково наклонены по отношению к горизонтали, находятся в сравнительно равных по характеру деформации условиях неполного прямого давления.

При втором варианте расположения калибров, при котором сохраняются одинаковыми вертикальные проекции полок и ножки, указанные недостатки частично отпадают, но зато при угле закрытия полок больше 45° усиливается резкость изгиба во всех калибрах, что затрудняет получение правильных по форме кромок готового продукта.

Придерживаясь в известной мере второго принципа расположения калибров, по положению чистового калибра в валках будем определять и положение всех других калибров. При этом чистовой калибр лучше всего располагать так, чтобы его полки составляли с горизонтально угол в 45° . Но для зетового профиля, полки которого по ширине больше высоты ножки, угол закрытия должен быть меньше 45° . Иными словами, углы закрытия полок чистовых калибров зетового профиля должны выбираться в зависимости от соотношения ширины полок и высоты ножки.

Можно рекомендовать:

- при отношении $\frac{b'}{h'} < 1$ — угол закрытия полок $\alpha_{\text{макс}} = 45^\circ$;
 при отношении $\frac{b'}{h'} = 1,0 \div 2,0$ — $\alpha_{\text{макс}} = 30^\circ$;
 при отношении $\frac{b'}{h'} > 2,0$ — $\alpha_{\text{макс}} = 20^\circ$.

Углы закрытия полок, их тригонометрические функции и постоянные коэффициенты зетовых калибров были приведены в табл. 1, 2 и 3.

Положение чистового зетового калибра в валках (рис. 57) вполне определяется углом закрытия полок $\alpha_{\text{макс}}$, но для построения чистового и всех других зетовых калибров требуется еще знать так называемую постоянную линию ножки

$$l = \sqrt{h^2 + h_n^2}, \quad (4.6)$$

ее горизонтальную проекцию

$$l_x = (h - h_n \operatorname{ctg} \alpha_{\text{макс}}) \sin \alpha_{\text{макс}} \quad (4.7)$$

и вертикальную проекцию:

$$l_y = (h + h_n \operatorname{tg} \alpha_{\text{макс}}) \cos \alpha_{\text{макс}}, \quad (4.8)$$

а также угол линии ножки, образуемый с горизонтально:

$$\delta_{II} = \operatorname{arc} \operatorname{tg} \left(\frac{h + h_n \operatorname{tg} \alpha_{\text{макс}}}{h \operatorname{tg} \alpha_{\text{макс}} - h_n} \right). \quad (4.9)$$

Таким образом, концевые точки a и b в одной из диагоналей прямоугольника с основанием l_x и высотой l_y являются внешними вершинами углов как чистового калибра с прямыми

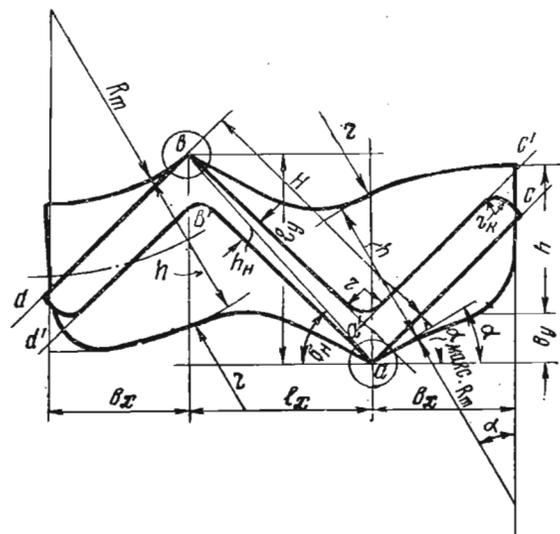


Рис. 57. К определению общего количества зетовых калибров

полками, так и предчистового и подготовительных зетовых калибров с развернутыми полками.

Для образования полок (рис. 57) через точку a и соответственно точку b проводятся линии ac и bd , составляющие с горизонтально угол $\alpha_{\text{макс}}$, и параллельные им линии $a'c'$ и $b'd'$. Для образования ножки из точки a и соответственно точки b описываются окружности радиусом, равным толщине ножки h_n , и касательные из центра окружности a к окружности b , и из центра окружности b к окружности a намечают контур ножки. После этого устанавливаются границы ширины полок и выполняются закругления на стыке полок с ножкой и по краям полок.

Для нормальной задачи предчистового раската в чистовой зетовый калибр (рис. 58) требуется, чтобы ширина ручья

была несколько больше ширины задаваемого в него раската, иначе говоря, должно быть:

$$\text{Ш}_p \approx 2,2 b_x + l_x,$$

где b_x — горизонтальная проекция полки предчистового профиля. Если учесть рассмотренное в дальнейшем соотношение элементов предчистового развернутого правильного зетового калибра, то этому требованию удовлетворяет также и равенство:

$$\text{Ш}_p \approx 2,4 b \cos \alpha_{\text{макс}} + l_x. \quad (4.10)$$

Глубина вреза по полке как верхнего, так и нижнего ручьев, образующих чистовой зетовый калибр, определится так:

$$\Gamma_p = 1,2 b \sin \alpha_{\text{макс}}. \quad (4.11)$$

Средняя толщина чистового зетового профиля (или средняя высота чистового зетового калибра) представится так:

$$h_c = \frac{q}{2(b - 0,5 h \operatorname{tg} \alpha_{\text{макс}}) \cos \alpha_{\text{макс}} + l_x}. \quad (4.12)$$

Или в другом виде:

$$h_c = \frac{2 h (b - h_n) + H h_n}{2 (b - 0,5 h \operatorname{tg} \alpha_{\text{макс}}) \cos \alpha_{\text{макс}} + l_x}. \quad (4.13)$$

При выбранном или установленном режиме деформации и коэффициентах обжатия по элементам определяется толщина каждого элемента зетового профиля (2.10), обжатие за пропуск (2.11), (1.23), средний катающий радиус валков по калибру (1.26) и все промежуточные расчетные величины, необходимые для определения уширения полок.

Возможное уширение каждой полки зетового профиля может быть определено по Бахтинову (2.12).

Далее может быть определена ширина спрямленной полки предчистового профиля, задаваемого в чистовой зетовый калибр (2.14), и площадь поперечного сечения предчистового профиля:

$$Q = 2 H (B - 0,5 H \operatorname{tg} \alpha) + \frac{l_x H_n}{\cos \beta}, \quad (4.14)$$

где H и H_n — толщина полки и ножки зетового профиля, задаваемого в чистовой калибр, а β — угол закрытия ножки предчистового калибра (4.36).

Коэффициент вытяжки за пропуск определится, как и прежде (2.16).

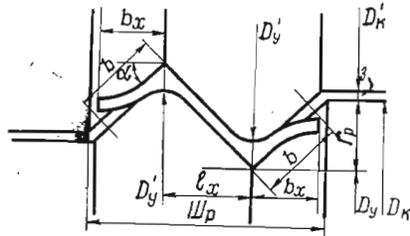


Рис. 58. Задача предчистового развернутого зетового раската в чистовой калибр

32. Общее число зетовых калибров

Общее число фасонных калибров для данного размера зетового профиля устанавливается из того условия, что в первом по ходу прокатки калибре полная вертикальная проекция полки должна быть по величине близка вертикальной проекции ножки чистового калибра (рис. 57), но не больше ее:

$$h + b_y \leq l_y.$$

Но вертикальная проекция ножки (4.8)

$$l_y = (h + h_n \operatorname{tg} \alpha_{\text{макс}}) \cos \alpha_{\text{макс}},$$

а вертикальная проекция полки по внешней грани

$$b_y = \frac{b}{3} \sin \alpha + R_m (1 - \cos \alpha).$$

Подставляя значение малого радиуса кривизны полки

$$R_m = \frac{2b}{3\alpha}$$

и заменяя

$$1 - \cos \alpha = 2 \sin^2 \frac{\alpha}{2},$$

после преобразования получим:

$$b_y = \frac{b}{3} \left(\sin \alpha + \frac{4 \sin^2 \frac{\alpha}{2}}{\alpha} \right). \quad (4.15)$$

Обозначая в равенстве (4.15) постоянную калибра (коэффициент высоты) через

$$C_b = \frac{1}{3} \left(\sin \alpha + \frac{4 \sin^2 \frac{\alpha}{2}}{\alpha} \right), \quad (4.16)$$

можем написать:

$$b_y = C_b b. \quad (4.17)$$

Тогда

$$h + C_b b \leq (h + h_n \operatorname{tg} \alpha_{\text{макс}}) \cos \alpha_{\text{макс}}.$$

Отсюда должно быть:

$$h \leq (h + h_n \operatorname{tg} \alpha_{\text{макс}}) \cos \alpha_{\text{макс}} - C_b b, \quad (4.18)$$

где h и b — толщина и ширина полки первого по ходу прокатки зетового калибра, мм;

h_n и h_n — высота и толщина ножки чистового калибра, мм;

$\alpha_{\text{макс}}$ — угол закрытия полок чистового калибра;

C_b — коэффициент высоты (постоянная) для первого по ходу прокатки зетового калибра (см. табл. 1, 2 и 3).

Итак, число фасонных калибров ограничивается толщиной полки в первом по ходу прокатки калибре и зависит при данных условиях от степени деформации металла по проускам, т. е. от выбранных коэффициентов обжатия полок и ножки. Это число калибров находится обычно в пределах пяти-шести и реже составляет четыре или доходит до семи.

33. Развернутые правильные зетовые калибры

По указанным ранее соображениям, предпочитая другим форму калибра с развернутыми полками, для построения зетовых калибров можно принять три основных положения:

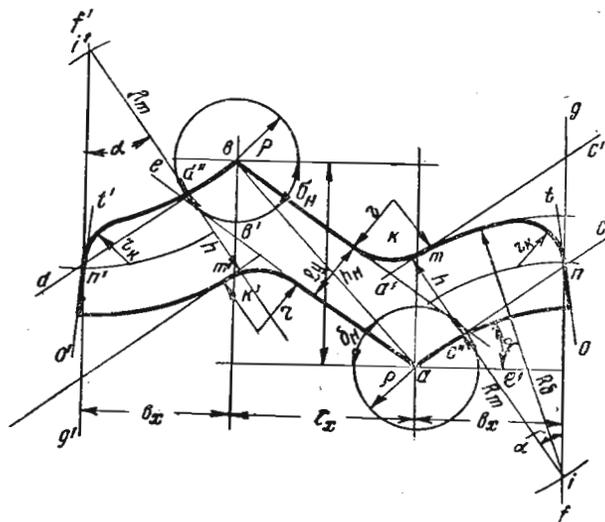


Рис. 59. Построение правильного развернутого зетового калибра

1. Сохранять у основания полки прямой участок (рис. 59), составляющий:

1) для толстых относительно ширины полок одну треть ширины полки

$$\pi = \frac{b}{3}; \quad (4.19)$$

2) для тонких относительно ширины полок половину ширины полки

$$\pi = \frac{b}{2}. \quad (4.20)$$

2. Развернутый участок полки, сопряженный с прямым и составляющий $\frac{2}{3}$ или $\frac{1}{2}$ ширины полки, образовывать как дугу с постоянным радиусом кривизны, определяемым как:

$$R_M = \frac{2b}{3\alpha} \quad (4.21)$$

или

$$R_M = \frac{0,5b}{\alpha}, \quad (4.22)$$

центр которой находится на пограничной вертикали ручья fg и $j'g'$.

3. Во всех зетовых калибрах сохранять постоянным положение линии ножки, определяемое углом δ_n (4.9).

Ширина полок предчистового развернутого и подготовительных зетовых калибров (2.19), (2.37) горизонтальная и вертикальная проекции полок (2.22) и (2.25), большие радиусы кривизны (2.27), радиусы закругления на стыке полок с ножкой и по краям на дне матричных ручьев (2.28), (2.29), (2.30), (2.31) и (2.32), выпуск калибров (2.33), приращение ширины калибра по ходу прокатки (2.34), горизонтальная проекция полки и ширина полки задаваемого в калибр развернутого зетового раската (2.36) и (2.37) определяются таким же образом, как и при калибровке равнобоких угольников.

Площадь развернутого правильного зетового калибра достаточно точно может быть определена без учета закруглений:

$$q = h [2b - h (\operatorname{tg} \alpha - \alpha)] + \frac{l_x h_n}{\cos \beta}. \quad (4.23)$$

Аналогично площадь развернутого зетового раската, задаваемого в калибр,

$$Q = n [2B - n (\operatorname{tg} \alpha - \alpha)] + \frac{l_x H_n}{\cos \beta}, \quad (4.24)$$

а коэффициент вытяжки за пропуск определится как отношение площадей раската до и после пропуска (2.16).

При построении развернутых зетовых калибров (рис. 59) прежде всего наносится прямоугольник с основанием и высотой, равными соответственно горизонтальной (4.7) и вертикальной (4.8) проекции линии ножки. Одна из диагоналей прямоугольника является постоянной линией ножки (4.6), наклоненной к горизонтали под углом δ_n (4.9). Концевые точки диагоналей a и b образованного таким образом прямоугольника служат внешними вершинами зетового калибра.

Через точки a и b проводятся наклонные ac и bd под углом α к горизонтали; затем на расстоянии h от этих линий прово-

дятся параллельно им линии $a'c'$ и $b'd'$. Из точек a и b , как из центров, описываются окружности радиусом $\rho = h_n$ и к этим окружностям из точек a и b проводятся общие касательные ae и be' , определяющие, таким образом, контур и положение ножки по отношению к полкам. Из точек a и b по линиям ac и bd откладываются отрезки ac'' и bd'' , равные каждый $1/3b$ (или $1/2b$), и на расстоянии b_x от точки a и соответственно точки b проводятся пограничные вертикали fg и $f'g'$, на которых из точек c'' и d'' , как из центров, засекаются малым радиусом кривизны R_m точки i и i' , являющиеся центрами дуг развернутого участка одной и другой полки. Точки c'' и d'' являются точками сопряжения прямого участка полки с изогнутым.

Через среднюю по толщине полки точку n и n' проводятся линии ot и $o't'$ с уклоном i по отношению к вертикали с таким расчетом, чтобы по месту разъема калибра в матричном ручье образовался выпуск, после чего на стыке полок с ножкой и по краям полок выполняются закругления.

34. Размеры заготовки

Высота прямоугольной или квадратной заготовки H_0 , задаваемой в первый подготовительный калибр плашмя (рис. 60), определяется толщиной ножки этого калибра и коэффициентом обжатия в нем (2.10) с последующей проверкой условий захвата металла валками. Ширина заготовки B_0 будет определяться шириной первого по ходу прокатки зетового калибра и уширением полок в нем, при этом:

$$B_0 = 2b_x + l_x - Z, \quad (4.25)$$

где b_x — горизонтальная проекция полки первого по ходу прокатки зетового калибра, Z — уширение полки в нем, а — l_x — горизонтальная проекция линии ножки.

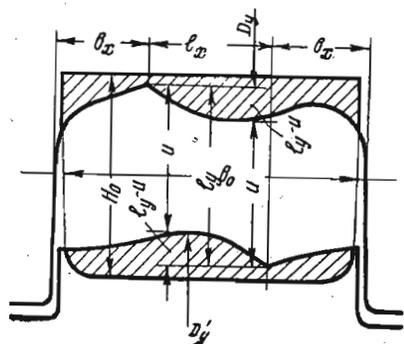


Рис. 60. Задача заготовки в правильный развернутый зетовый калибр

II. МОНТАЖ ПРАВИЛЬНЫХ ЗЕТОВЫХ КАЛИБРОВ В ВАЛКАХ

35. Нейтральная линия правильных зетовых калибров

Для правильных зетовых калибров (рис. 56 и 61), вследствие равенства площадей Φ и Φ' уравнения (1.82), ординаты нейтральной линии калибра как относительно верхней, так и относи-

тельно нижней базы будут одинаковы. Нейтральная линия в этих калибрах проходит через середину линии ножки и поэтому:

$$Z_n = 0,5 (n + h_n \operatorname{tg} \alpha_{\text{манс}}) \cos \alpha_{\text{манс}}. \quad (4.26)$$

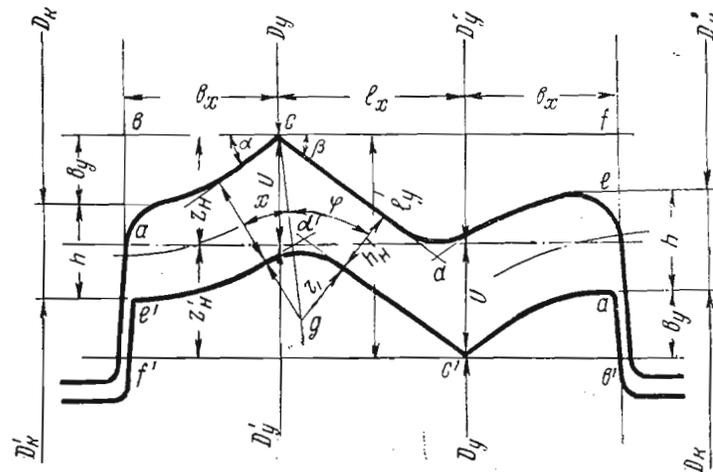


Рис. 61. Нейтральная линия и катающие диаметры валков по ручьям развернутого правильного зетового калибра

36. Катающие диаметры валков по ручьям правильных зетовых калибров

Катающие диаметры верхнего и нижнего валка в сходных точках ручьев правильных зетовых калибров попарно будут одинаковы.

Катающие диаметры верхнего и нижнего валка по внешним вершинам углов как чистового, так и всех развернутых зетовых калибров (рис. 56 и 61) в общем виде определяются как и прежде (2.58), или в другом виде:

$$D_y = D - (n - h_n \operatorname{tg} \alpha_{\text{манс}}) \cos \alpha_{\text{манс}}. \quad (4.27)$$

Катающие диаметры верхнего и нижнего валка по краям ручьев, относящиеся к внешним граням полок — по чистовому калибру:

$$D_K = D_y + 2\Gamma_p, \quad (4.28)$$

или в другом виде:

$$D_K = D_y + 2,4b \sin \alpha_{\text{манс}}. \quad (4.29)$$

По развернутому калибру:

$$D_K = D_y + 2 C_b b. \quad (4.30)$$

Катающие диаметры верхнего и нижнего вала по краям ручьев, относящиеся к внутренним граням полок по чистовому калибру:

$$D'_K = 2(D - z) - D_K; \quad (4.31)$$

по развернутому калибру:

$$D'_K = 2(D - h) - D_K. \quad (4.32)$$

Катающие диаметры верхнего и нижнего вала по внутренним вершинам углов как чистового, так и всех развернутых зетовых калибров в общем виде представляются так:

$$D'_y = 2(D - u) - D_y. \quad (4.33)$$

Далее из рис. 61 можно видеть, что

$$\frac{h+r}{\cos x} = \frac{h_n+r}{\cos \varphi},$$

откуда

$$\cos \varphi = \frac{h_n+r}{h+r} \cos x.$$

С другой стороны

$$\varphi + x = \alpha + \beta$$

и

$$x = (\alpha + \beta) - \varphi.$$

Следовательно,

$$\cos \varphi = \frac{h_n+r}{h+r} \cos [(\alpha + \beta) - \varphi].$$

Заменяя

$$\cos [(\alpha + \beta) - \varphi] = \cos (\alpha + \beta) \cos \varphi + \sin (\alpha + \beta) \sin \varphi,$$

после подстановки получаем:

$$\cos \varphi = \frac{h_n+r}{h+r} [\cos (\alpha + \beta) \cos \varphi + \sin (\alpha + \beta) \sin \varphi],$$

и вынося за квадратные скобки $\cos \varphi$, после преобразования имеем:

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{h+r}{(h_n+r) \sin (\alpha + \beta)} - \operatorname{ctg} (\alpha + \beta).$$

Отсюда вспомогательный угол калибра:

$$\varphi = \operatorname{arc} \operatorname{tg} \left[\frac{h+r}{(h_n+r) \sin (\alpha + \beta)} - \operatorname{ctg} (\alpha + \beta) \right], \quad (4.34)$$

где φ — вспомогательный угол калибра, составляемый перпендикуляром к грани ножки и линией cg , соединяющей вершину угла калибра с центром радиуса закругления r ;

α и β — углы закрытия полки и ножки зетового калибра. В уравнении (4.34) входит неизвестный еще угол закрытия ножки зетового калибра β , который определится как разность между углом наклона линии ножки по отношению к горизонтали δ_n и углом, составляемым гранью и линией ножки γ ; углы γ и δ_n , также как и углы закрытия полок α и ножки β , являются основными углами зетового калибра.

Угол ножки определяется через линию ножки l и толщину ножки калибра:

$$\gamma = \operatorname{arc} \sin \left(\frac{h_n}{l} \right). \quad (4.35)$$

Кроме того, из уравнения (4.9) имеем угол линии ножки δ_n . Тогда угол закрытия ножки:

$$\beta = \delta_n - \gamma. \quad (4.36)$$

Следовательно, искомый отрезок будет:

$$u = \frac{(h_n+r) \cos (\varphi - \beta)}{\cos \varphi} - r. \quad (4.37)$$

37. Захват металла валками

Определив катающие диаметры в главных точках зетового калибра, можно проверить условия захвата металла валками. Достаточно при этом произвести проверку лишь для первого по ходу прокатки фасонного калибра.

Прежде всего необходимо установить, в каких точках заготовка будет захватываться валками. Для зетовых профилей с ножкой, одинаковой по толщине с полками или тоньше их, заготовка при задаче в первый фасонный калибр (см. рис. 60) захватывается в большинстве случаев выступами верхнего и нижнего валков, относящимися к внутренним вершинам углов калибра. Так как расстояние между этими выступами равно

$$2u - l_y,$$

то максимальное обжатие, по которому необходимо проверить условие захвата металла валками, будет:

$$\Delta h_m = H_o + l_v - 2u. \quad (4.38)$$

Так как средний катающий диаметр валков по выступам, захватывающим заготовку, будет D'_y то из общеизвестного соотношения

$$H_0 + l_y - 2u = 2D'_y \sin^2 \frac{\alpha_3}{2}$$

получим угол захвата:

$$\alpha_3 = 2 \arcsin \sqrt{\frac{H_0 + l_y - 2u}{2D'_y}}, \quad (4.39)$$

где α_3 — угол захвата, в зависимости от окружной скорости и состояния поверхности валков допускается от 20° до 26° .

III. КАЛИБРОВКА ЗЕТА № 6

В соответствии с изложенной методикой калибровки правильных зетовых профилей выполним калибровку зета № 6, намечаемого к прокатке на стане с номинальным диаметром валков 400 мм.

38. Расчет калибровочных данных

Основные размеры заданного к получению зета № 6 в холодном состоянии:

высота ножки:

$$n' = 60 \text{ мм};$$

ширина полок:

$$b' = 45 \text{ мм}.$$

Допускаемые отклонения в размерах по высоте ножки и ширине полок:

$$\gamma_{ш} = \pm 3\%.$$

толщина ножки:

$$h'_n = 5 \text{ мм};$$

толщина полок:

$$h' = 7,5 \text{ мм}.$$

Допускаемые отклонения в размерах по толщине ножки и полок:

$$\gamma_T = \pm 0,5 \text{ мм}.$$

Радиусы закругления на стыке полок с ножкой и по краям полок:

$$r' = 5 \text{ мм} \text{ и } r'_K = 3,7 \text{ мм}.$$

Первый (чистовой) калибр и задаваемое в него сечение

1. Высота ножки (4.2):

$$n = \lambda_t (n' - \gamma_{ш}) = 1,012 (60 - 1,8) = 58,8 \text{ мм}.$$

2. Толщина ножки (4.4):

$$h_n = \lambda_t (h'_n - \gamma_T) = 1,012 (5 - 0,5) = 4,5 \text{ мм}.$$

3. Ширина полок (4.1):

$$b = \lambda_t (b' - \gamma_{ш}) = 1,012 (45 - 1,35) = 44,2 \text{ мм}.$$

4. Толщина полок (4.3):

$$h = \lambda_t (h' - \gamma_T) = 1,012 (7,5 - 0,5) = 7,1 \text{ мм}.$$

5. Радиус закругления на стыке полок с ножкой (2.3):

$$r = \lambda_t r' = 1,012 \cdot 5 \approx 5 \text{ мм}.$$

Радиус закругления по краям полок (2.4):

$$r_K = \lambda_t r'_K = 1,012 \cdot 3,7 \approx 3,7 \text{ мм}.$$

6. Так как отношение ширины полки к высоте ножки

$$\frac{b'}{n'} = \frac{45}{60} < 1,$$

то угол закрытия полок чистового зетового калибра можно выбрать $\alpha_{\max} = 45^\circ$.

7. Горизонтальная проекция линии ножки (4.7):

$$l_x = (n - h_n \operatorname{ctg} \alpha_{\max}) \sin \alpha_{\max} = \\ = (58,8 - 4,5) 0,707 = 38,4 \text{ мм}.$$

8. Вертикальная проекция линии ножки (4.8):

$$l_y = (n + h_n \operatorname{tg} \alpha_{\max}) \sin \alpha_{\max} = \\ = (58,8 + 4,5) 0,707 = 44,8 \text{ мм}.$$

9. Постоянная линия ножки (4.6):

$$l = \sqrt{n^2 + h_n^2} = \sqrt{58,8^2 + 4,5^2} = 59 \text{ мм}.$$

10. Основные углы зетового калибра:

угол ножки (4.35):

$$\tau = \arcsin \left(\frac{h_n}{l} \right) = \arcsin \left(\frac{4,5}{59} \right) = 4^\circ 24';$$

угол линии ножки (4.9):

$$\epsilon_n = \arctg \left(\frac{n + h_n \operatorname{tg} \alpha_{\max}}{n \operatorname{tg} \alpha_{\max} - h_n} \right) = \arctg \left(\frac{58,8 + 4,5}{58,8 - 4,5} \right) = 49^\circ 24';$$

угол закрытия ножки (4.36):

$$\beta = \delta_{\text{н}} - \gamma = 49^\circ 24' - 4^\circ 24' = 45^\circ.$$

11. Ширина ручьев верхнего и нижнего валка, образующих чистой калибр (4.10):

$$\begin{aligned} \text{Ш}_p &= 2,4 b \cos \alpha_{\text{макс}} + l_x = 2,4 \cdot 44,2 \cdot 0,707 + \\ &+ 33,4 = 113,4 \text{ мм.} \end{aligned}$$

12. Глубина ручьев по полкам (4.11):

$$\Gamma_p = 1,2 b \sin \alpha_{\text{макс}} = 1,2 \cdot 44,2 \cdot 0,707 = 37,5 \text{ мм.}$$

13. Ширина калибра по заполнению металлом:

$$\begin{aligned} \text{ш} &= 2(b - 0,5 h t g \alpha_{\text{макс}}) \cos \alpha_{\text{макс}} + l_x = 2(44,2 - 0,5 \cdot 7,1) 0,707 + 38,4 = \\ &= 96 \text{ мм.} \end{aligned}$$

14. Площадь чистового калибра (4.5):

$$\begin{aligned} q &= 2 h (b - h_{\text{н}}) + \pi h_{\text{н}} = 2 \cdot 7,1 (44,2 - 4,5) + \\ &+ 53,8 \cdot 4,5 = 830 \text{ мм}^2. \end{aligned}$$

15. Средняя высота калибра (4.12):

$$h_c = \frac{q}{\text{ш}} = \frac{830}{96} = 8,6 \text{ мм.}$$

16. При коэффициенте обжатия $\lambda = 1,20$ толщина ножки задаваемого в калибр раската (2.10):

$$H_{\text{н}} = \lambda h_{\text{н}} = 1,20 \cdot 4,5 = 5,4 \text{ мм.}$$

Толщина полки (2.10)

$$H = \lambda h = 1,20 \cdot 7,1 = 8,5 \text{ мм.}$$

Средняя толщина раската (2.10)

$$H_c = \lambda h_c = 1,20 \cdot 8,6 = 10,3 \text{ мм.}$$

17. Обжатие за пропуск — по ножке (2.11):

$$\Delta h_{\text{н}} = H_{\text{н}} - h_{\text{н}} = 5,4 - 4,5 = 0,9 \text{ мм;}$$

по полкам (2.11):

$$\Delta h = H - h = 8,5 - 7,1 = 1,4 \text{ мм.}$$

Среднее обжатие по зетовому профилю (1.23):

$$\Delta h_c = H_c - h_c = 10,3 - 8,6 = 1,7 \text{ мм.}$$

18. Средний катающий радиус валков по калибру (1.26):

$$R_c = 0,5 (D - h_c) = 0,5 (400 - 8,6) \approx 196 \text{ мм.}$$

19. Угол захвата по среднему обжатию (2.13):

$$\alpha_c = \sqrt{\frac{\Delta h_c}{R_c}} = \sqrt{\frac{1,7}{196}} = 0,093 \text{ рад.}$$

20. При температуре конца прокатки $t = 850^\circ$ коэффициент трения металла о чугунные валки:

$$f = 0,8 (1,05 - 0,0005 t) = 0,8 (1,05 - 0,0005 \cdot 850) = 0,50.$$

21. При отношении $\frac{\alpha_c}{f} = \frac{0,093}{0,5} = 0,186$ коэффициент $C_z = 0,47$

и возможное уширение каждой полки:

$$Z = C_z \sqrt{\frac{R_c \Delta h_c^3}{H_c^2}} = 0,47 \sqrt{\frac{196 \cdot 1,6^3}{10,3^2}} = 1,4 \text{ мм.}$$

22. Ширина спрямленной полки задаваемого в калибр раската:

$$B = b - Z = 44,2 - 1,4 = 42,8 \text{ мм.}$$

23. Основные углы второго (предчистового) зетового калибра: угол ножки (4.35):

$$\gamma = \arcsin \left(\frac{h_{\text{н}}}{l} \right) = \arcsin \left(\frac{5,4}{59} \right) = 5^\circ 15';$$

угол закрытия ножки (4.36):

$$\beta = \delta_{\text{н}} - \gamma = 49^\circ 24' - 5^\circ 15' = 44^\circ 09'.$$

24. Площадь поперечного сечения задаваемого в чистой калибр раската (4.24):

$$\begin{aligned} Q &= 2 H (B - 0,5 H t g \alpha) + \frac{l_x H_{\text{н}}}{\cos \beta} = 2 \cdot 8,5 (42,8 - 0,5 \cdot 8,5) + \\ &+ \frac{38,4 \cdot 5,4}{\cos 44^\circ 09'} = 942 \text{ мм}^2. \end{aligned}$$

25. Коэффициент вытяжки за пропуск (2.16):

$$\mu = \frac{Q}{q} = \frac{942}{830} = 1,135.$$

26. Ордината нейтральной линии чистового и всех других развернутых зетовых калибров (4.26):

$$\begin{aligned} Z_{\text{н}} &= 0,5 (h + h_{\text{н}} t g \alpha_{\text{макс}}) \cos \alpha_{\text{макс}} = 0,5 (58,8 + \\ &+ 4,5) 0,707 = 22,4 \text{ мм.} \end{aligned}$$

27. Катающие диаметры верхнего и нижнего валка по внешним вершинам углов всех зетовых калибров (4.27):

$$D_y = D - 2 Z_n = 400 - 2 \cdot 22,4 \approx 355 \text{ мм.}$$

28. Катающие диаметры верхнего и нижнего валка по краям ручьев, относящиеся к внешним граням полок (4.28):

$$D_k = D_y + 2 \Gamma_p = 355 + 2 \cdot 37,5 = 430 \text{ мм.}$$

29. Катающие диаметры верхнего и нижнего валка по краям ручьев, относящиеся к внутренним граням полок (4.31), при зазоре между валками $z = 4$ мм:

$$D'_k = 2(D - z) - D_k = 2(400 - 4) - 430 = 362 \text{ мм.}$$

30. Вспомогательный угол калибра (4.34):

$$\varphi = \arctg \left[\frac{h+r}{(h_n+r) \sin(\alpha+\beta)} - \operatorname{ctg}(\alpha+\beta) \right] = \\ = \arctg \left[\frac{7,1+5}{(4,5+5) \sin(45^\circ+45^\circ)} - \operatorname{ctg}(45^\circ+45^\circ) \right] = 51^\circ 50'.$$

31. Вспомогательный отрезок (4.37):

$$u = \frac{(h_n+r) \cos(\gamma-\beta)}{\cos \varphi} - r = \frac{(4,5+5) \cos(51^\circ 50' - 45^\circ 00')}{\cos 51^\circ 50'} - \\ - 5 = 10,3 \text{ мм.}$$

32. Катающие диаметры верхнего и нижнего валка по внутренним вершинам углов калибра (4.33):

$$D'_y = 2(D - u) - D_y = 2(400 - 10,3) - 355 = 424,4 \text{ мм.}$$

Второй (предчистовой) калибр и задаваемое в него сечение

Ширина спрямленной полки предчистового зетового профиля:

$$B = 42,8 \text{ мм.}$$

Толщина полок:

$$h = 8,5 \text{ мм.}$$

Толщина ножки:

$$h_n = 5,4 \text{ мм.}$$

Площадь калибра:

$$q = 942 \text{ мм}^2.$$

Угол закрытия полок предчистового калибра $\alpha = 45^\circ$ или $\alpha = 0,785$ рад. Угол ножки $\gamma = 5^\circ 15'$. Угол линии ножки $\delta_n = 49^\circ 24'$ и угол закрытия ножки $\beta = 44^\circ 09'$.

1. Ширина полки в развернутом состоянии предчистового калибра (2.19):

$$b = B - 0,5 h \alpha = 42,8 - 0,5 \cdot 8,5 \cdot 0,785 = 39,5 \text{ мм.}$$

2. Горизонтальная проекция полки (2.22):

$$b_x = C_{ш} b = 0,836 \cdot 39,5 = 33 \text{ мм.}$$

3. Ширина калибра:

$$ш = 2 b_x + l_x = 2 \cdot 33 + 38,4 = 104,4 \text{ мм.}$$

4. Вертикальная проекция полки (2.25):

$$b_y = C_b b = 0,487 \cdot 39,5 = 19,2 \text{ мм.}$$

5. Малый радиус кривизны полок (4.21):

$$R_m = \frac{2b}{3\alpha} = \frac{2 \cdot 39,5}{3 \cdot 0,785} = 33,5 \text{ мм.}$$

6. Большой радиус кривизны (2.27):

$$R_b = R_m + h = 33,5 + 8,5 = 42,0 \text{ мм.}$$

7. Радиус закругления на стыке полок с ножкой (2.28):

$$r_2 = \lambda_1 r_1 = 1,20 \cdot 5 = 6 \text{ мм.}$$

8. Выпуск матричного ручья (2.33):

$$i = 0,10.$$

9. Площадь предчистового развернутого зетового калибра (4.23):

$$q = h [2b - h (\operatorname{tg} \alpha - \alpha)] + \frac{l_x h_n}{\cos \beta} = 8,5 [2 \cdot 39,5 - 8,5 (1 - \\ - 0,785)] + \frac{38,4 \cdot 5,4}{\cos 44^\circ 09'} = 942 \text{ мм}^2.$$

10. Средняя высота калибра (1.25):

$$h_c = \frac{q}{ш} = \frac{942}{104,4} = 9 \text{ мм.}$$

11. При коэффициенте обжатия $\lambda = 1,40$ толщина ножки задаваемого в калибр раската (2.10):

$$H_n = \lambda h_n = 1,40 \cdot 5,4 = 7,6 \text{ мм.}$$

Толщина полки (2.10):

$$H = \lambda h = 1,40 \cdot 8,5 = 11,9 \text{ мм.}$$

Средняя толщина раската (2.10):

$$H_c = \lambda h_c = 1,40 \cdot 9 = 12,6 \text{ мм.}$$

12. Обжатие за пропуск — по ножке (2.11):

$$\Delta h_n = H_n - h_n = 7,6 - 5,4 = 2,2 \text{ мм};$$

по полкам (2.11):

$$\Delta h = H - h = 11,9 - 8,5 = 3,4 \text{ мм}.$$

Среднее обжатие по зетовому профилю (1.23):

$$\Delta h_c = H_c - h_c = 12,6 - 9 = 3,6 \text{ мм}.$$

13. Средний катающий радиус валков (1.26):

$$R_c = 0,5(D - h_c) = 0,5(400 - 9) \approx 195 \text{ мм}.$$

14. Угол захвата по среднему обжатию (2.13):

$$\alpha_c = \sqrt{\frac{\Delta h_c}{R_c}} = \sqrt{\frac{3,6}{195}} = 0,136 \text{ рад}.$$

15. При температуре прокатываемого металла за пропуск

$$t_2 = t_1 + \Delta t_1 = 850 + 30 = 880^\circ$$

коэффициент трения металла о чугунные валки (1.39):

$$f = 0,8(1,05 - 0,0005 t) = 0,8(1,05 - 0,0005 \cdot 880) = 0,488.$$

16. При отношении $\frac{\alpha_c}{f} = \frac{0,136}{0,488} = 0,28$ коэффициент $C_z = 0,46$ и возможное уширение каждой полки (2.12):

$$Z = C_z \sqrt{\frac{R_c \Delta h^3}{H_c^2}} = 0,46 \sqrt{\frac{195 \cdot 3,6^3}{12,6^2}} = 3,5 \text{ мм}.$$

17. Приращение горизонтальной проекции полки (2.34):

$$\Delta b_x = 0,5 H i = 0,5 \cdot 11,9 \cdot 0,10 \approx 0,6 \text{ мм}.$$

18. Горизонтальная проекция полки задаваемого в калибр раската (2.36):

$$B_x = b_x - \Delta b_x = 33 - 0,6 = 32,4 \text{ мм}.$$

19. Ширина полки зетового раската до пропуска (2.37):

$$B = \frac{B_x}{C_{ш}} = \frac{32,4}{0,870} = 37,3 \text{ мм}.$$

20. Приращение ширины полки за пропуск, допускаемое размерами калибра (2.38):

$$\Delta b = b - B = 39,5 - 37,3 = 2,2 \text{ мм}.$$

Как видно, отношение $\frac{\Delta b}{z} = \frac{2,9}{3,4} < 1$, и калибр должен нормально заполняться металлом.

21. Основные углы по третьему зетовому калибру — угол ножки (4.35):

$$\gamma = \arcsin \left(\frac{H_{ш}}{l} \right) = \arcsin \left(\frac{7,6}{59} \right) = 7^\circ 25';$$

угол закрытия ножки (4.36):

$$\beta = \delta - \gamma = 49^\circ 24' - 7^\circ 24' = 42^\circ.$$

22. Площадь поперечного сечения зетового раската до пропуска (4.24):

$$Q = H [2B - H (\operatorname{tg} \alpha - \alpha)] + \frac{l_x H_{ш}}{\cos \beta} = 11,9 [2 \cdot 37 - 11,9 (0,839 - 0,698)] + \frac{38,4 \cdot 7,6}{\cos 42^\circ} = 1253 \text{ мм}^2.$$

23. Коэффициент вытяжки за пропуск (2.16):

$$\mu = \frac{Q}{q} = \frac{1253}{942} = 1,330.$$

24. Катающие диаметры верхнего и нижнего валка по внешним углам второго (предчистового) зетового калибра определены уже раньше по чистовому калибру $D_y = 355 \text{ мм}$.

25. Катающие диаметры верхнего и нижнего валка по краям ручьев —

относящиеся к внешним граням полки (4.30):

$$D_{ш} = D_y + 2C_b b = 355 + 2 \cdot 0,487 \cdot 39,3 = 393,4 \text{ мм};$$

и относящиеся к внутренним граням полки (4.32):

$$D'_{ш} = 2(D - h) - D_{ш} = 2(400 - 8,5) - 393,4 = 389,6 \text{ мм}.$$

26. Так как вспомогательный угол калибра (4.34):

$$\varphi = \arcsin \left[\frac{h + r}{(h_n + r) \sin(\alpha + \beta)} - \operatorname{ctg} \alpha \right] = \arcsin \left[\frac{8,5 + 6}{(5,4 + 6) \sin(45^\circ + 44^\circ 09')} - \operatorname{ctg}(45^\circ + 44^\circ 09') \right] = 50^\circ 30'$$

и вспомогательный отрезок (4.37):

$$u = \frac{(h_n + r) \cos(\varphi - \beta)}{\cos \varphi} - r = \frac{(5,4 + 6) \cos(50^\circ 30' - 44^\circ 09')}{\cos 50^\circ 30'} - 6 = 11,8 \text{ мм},$$

то катающие диаметры верхнего и нижнего валка по внутренним вершинам углов калибра (4.33):

$$D'_y = 2(D - u) - D'_y = 2(400 - 11,8) - 355 = 421,4 \text{ мм.}$$

Третий калибр и задаваемый в него раскат

Ширина полок:

$$b = 37,3 \text{ мм.}$$

Толщина полок:

$$h = 11,9 \text{ мм.}$$

Толщина ножки:

$$h_n = 7,6 \text{ мм.}$$

Горизонтальная проекция полки:

$$b_x = 32,4 \text{ мм.}$$

Площадь калибра:

$$q = 1253 \text{ мм}^2.$$

Угол закрытия полок:

$$\alpha = 40^\circ \text{ или } \alpha = 0,698 \text{ рад.}$$

Угол ножки:

$$\gamma = 7^\circ 25'.$$

Угол линии ножки:

$$\delta_n = 49^\circ 24'.$$

Угол закрытия ножки:

$$\beta = 42^\circ.$$

1. Вертикальная проекция полки (4.17):

$$b_y = C_b b = 0,438 \cdot 37,3 = 16,3 \text{ мм.}$$

2. Малый радиус кривизны полок (4.21):

$$R_m = \frac{2b}{3\alpha} = \frac{2 \cdot 37,3}{3 \cdot 0,698} = 35,7 \text{ мм.}$$

3. Большой радиус кривизны полок (2.27):

$$R_\sigma = R_m + h = 35,7 + 11,9 = 47,6 \text{ мм.}$$

4. Радиус закругления на стыке полок с ножкой (2.29):

$$r = h_n \approx 8 \text{ мм.}$$

5. Выпуск матричного ручья (2.33):

$$i = 0,10.$$

6. Ширина калибра:

$$ш = 2b_x + l_x = 2 \cdot 32,4 + 38,4 = 103,2 \text{ мм.}$$

7. Средняя высота калибра (1.25):

$$h_c = \frac{q}{ш} = \frac{1253}{103,8} = 12,1 \text{ мм.}$$

8. При коэффициенте обжатия в подготовительных калибрах $\lambda = 1,70$ толщина ножки раската задаваемого в калибр (2.16):

$$H_n = \lambda h_n = 1,70 \cdot 7,6 = 12,9 \text{ мм.}$$

Толщина полки (2.10):

$$H = \lambda h = 1,70 \cdot 11,9 = 20,2 \text{ мм.}$$

Средняя толщина раската (2.10):

$$H_c = \lambda h_c = 1,70 \cdot 12,1 = 20,6 \text{ мм.}$$

9. Обжатие за пропуск —

по ножке (2.11):

$$\Delta h_n = H - h = 12,9 - 7,6 = 5,3 \text{ мм;}$$

по полкам (2.11):

$$\Delta h = H - h = 20,2 - 11,9 = 8,3 \text{ мм.}$$

Среднее обжатие по зетовому раскату (1.23):

$$\Delta h_c = H_c - h_c = 20,6 - 12,1 = 8,5 \text{ мм.}$$

10. Средний катающий радиус валков по калибру (1.26):

$$R_c = 0,5(D - h_c) = 0,5(400 - 12,2) \approx 194 \text{ мм.}$$

11. Угол захвата по среднему обжатию (2.13):

$$\alpha_c = \sqrt{\frac{\Delta h_c}{R_c}} = \sqrt{\frac{8,5}{194}} = 0,209 \text{ рад.}$$

12. При температуре прокатываемого металла

$$t_3 = t_2 + \Delta t_2 = 880 + 30 = 910^\circ,$$

коэффициент трения металла о стальные валки (1.38):

$$f = 1,05 - 0,0005 t = 1,05 - 0,0005 \cdot 910 = 0,595.$$

13. При отношении $\frac{\alpha_c}{f} = \frac{0,209}{0,595} = 0,352$, коэффициент уширения по Бахтинову $C_z = 0,44$ и возможное уширение каждой полки (2.12):

$$Z = C_z \sqrt{\frac{R_c \Delta h_c^3}{H_c^2}} = 0,44 \sqrt{\frac{194 \cdot 8,5^3}{20,6^2}} = 7,4 \text{ мм.}$$

14. Приращение горизонтальной проекции полки (2.34):

$$\Delta b_x = 0,5 H i = 0,5 \cdot 20,7 \cdot 0,10 \approx 1 \text{ мм.}$$

15. Горизонтальная проекция полки задаваемого в калибр раската (2.36):

$$B_x = b_x - \Delta b_x = 32,4 - 1 = 31,4 \text{ мм.}$$

16. Ширина полки зетового раската до пропуска (2,37):

$$B = \frac{B_x}{C_{ш}} = \frac{31,4}{0,916} = 34,3 \text{ мм.}$$

17. Приращение ширины полки за пропуск (2,38):

$$\Delta b = b - B = 37,3 - 34,3 = 3 \text{ мм.}$$

Как видно отношение $\frac{\Delta b}{Z} = \frac{3}{7,4} < 1$ и калибр должен заполняться металлом.

18. Основные углы по четвертому калибру — угол ножки (4.35):

$$\gamma = \arcsin \left(\frac{H_H}{l} \right) = \arcsin \left(\frac{12,9}{59} \right) = 12^\circ 40';$$

угол закрытия ножки (4.36):

$$\beta = \delta_H - \gamma = 40^\circ 24' - 12^\circ 40' = 36^\circ 44'.$$

19. Площадь поперечного сечения зетового раската до пропуска (4.24):

$$Q = H [2B - H (\operatorname{tg} \alpha - \alpha)] + \frac{l_x H_H}{\cos \beta} = 20,2 [2 \cdot 34,3 - 20,2 (0,625 - 0,558)] + \frac{38,4 \cdot 12,9}{\cos 36^\circ 44'} = 1973 \text{ мм}^2.$$

20. Коэффициент вытяжки за пропуск (2.16):

$$\mu = \frac{Q}{q} = \frac{1973}{1253} = 1,574.$$

21. Катающие диаметры верхнего и нижнего валка по краям ручьев, относящиеся к внешним граням полок (4.30):

$$D_K = D_y + 2c_b b = 355 + 2 \cdot 0,438 \cdot 34,3 = 387,6 \text{ мм};$$

относящиеся к внутренним граням полок (4,32):

$$D'_K = 2(D - h) - D_K = 2(400 - 11,9) - 387,6 = 388,6 \text{ мм.}$$

22. Так как вспомогательный угол калибра (4.34):

$$\varphi = \arcsin \left[\frac{h+r}{(h_H+r) \sin(\alpha+\beta)} - \operatorname{ctg}(\alpha+\beta) \right] = \arcsin \left[\frac{11,9+8}{(7,6+8) \sin(40^\circ+42^\circ)} - \operatorname{ctg}(40^\circ+42^\circ) \right] = 48^\circ 55'$$

Таблица 16

Расчетные показатели калибровки правильного зета № 6

№ калибра	α град-	α град	λ	h мм	H мм	Δh мм	b_x мм	Δb_x мм	B_x мм	b мм	B мм	Δb мм	b_y мм	R_M мм	R_B мм	h_H мм	H_H мм	Δh_H мм	ш мм
5	45	1,20	1,40	7,1	8,5	1,4	33,0	0,6	32,4	44,2	42,8	1,4	19,2	—	—	4,5	5,4	0,9	96,0
4	45	1,40	3,4	8,5	11,9	3,4	33,0	0,6	32,4	39,5	37,3	2,2	16,3	42,0	42,0	5,4	7,6	2,2	104,4
3	40	0,698	1,70	11,9	20,2	8,3	32,4	1,0	31,4	37,3	34,3	3,0	12,3	35,7	47,6	7,6	12,9	5,3	103,2
2	32	0,558	1,70	20,2	34,3	14,1	31,4	2,0	29,4	34,3	30,4	3,9	6,9	41,0	61,2	12,9	22,0	9,1	101,2
1	20	0,349	1,70	34,3	—	—	29,4	—	—	30,4	—	—	—	58,2	92,5	22,0	—	—	97,2

q мм ²	h_C мм	H_C мм	Δh_C мм	R_C мм	α_C град	t мм	f	$\frac{\alpha_C}{f}$	C_Z	Z мм	δ_H град	γ град	β град	Q мм ²	p	Z_H мм	D_y мм	D_K мм	D'_K мм	r мм	φ град	h мм	D'_y мм
830	8,6	10,3	1,7	196,0	0,093	850,0	500,0	186,0	47	1,4	49°24'	4°24'	45°00'	942	1,135	22,4	355	430,0	362,0	5	51°50'	10,3	424,4
942	9,0	12,6	3,6	195,0	0,136	880,0	488,0	280,0	46	3,5	49°24'	5°15'	44°09'	1253	1,330	22,4	355	393,4	389,6	6	50°30'	11,8	421,8
1253	12,1	20,6	8,5	194,0	0,209	910,0	595,0	352,0	44	7,4	49°24'	7°25'	42°00'	1973	1,574	22,4	355	387,6	388,6	8	48°55'	15,6	413,8
1973	19,5	33,2	13,7	190,0	0,268	940,0	580,0	462,0	42	8,8	49°24'	12°40'	36°44'	3022	1,530	22,4	355	379,6	380,0	13	44°40'	23,1	398,8
3022	31,1	52,8	21,7	185,0	0,342	970,0	565,0	585,0	39	10,2	49°24'	21°54'	27°30'	4610	1,525	22,4	355	368,8	362,6	22	39°25'	33,8	377,4

Примечание. Высота ножки $h' = 60$ мм. Горизонтальная проекция линии ножки $l_x = 38,4$ мм. Вертикальная проекция линии ножки $l_y = 44,8$ мм.

и вспомогательный отрезок (4.37):

$$u = \frac{(h_n + r) \cos(\varphi - \beta)}{\cos \varphi} - r = \frac{(7,6 + 8) \cos(48^\circ 55' - 42^\circ)}{\cos 48^\circ 55'} - 8 = 15,6 \text{ мм,}$$

то катающие диаметры верхнего и нижнего валка по внутренней вершине углов калибра (4.33):

$$D'_y = 2(D - u) - D_y = 2(400 - 15,6) - 355 = 413,8 \text{ мм.}$$

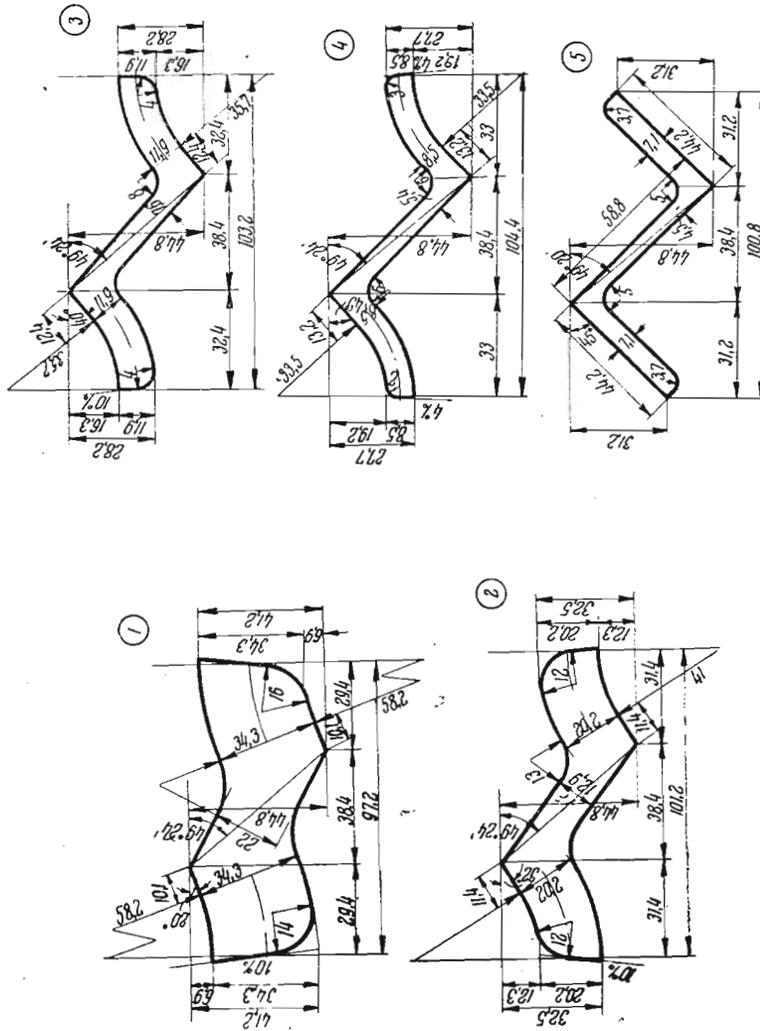


Рис. 62. Шаблоны калибров зета № 6

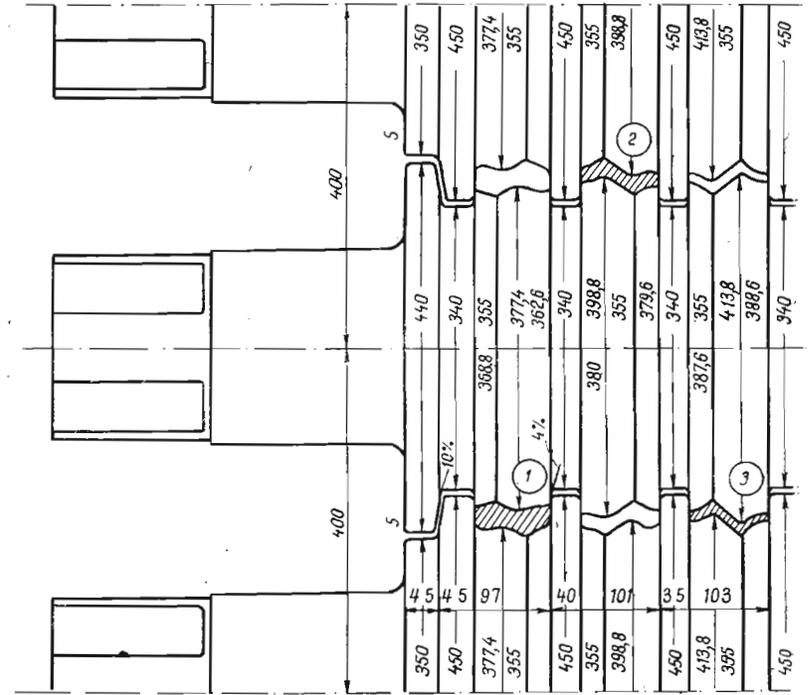


Рис. 63. Рабочие валки трехвалкового стана для прокатки зета № 6 (принцип монтажа калибров и конструирования ручьев, буртов и замков)

Расчет всех последующих развернутых зетовых калибров выполняется таким же образом, как и расчет третьего калибра, поэтому, не повторяя вычислений, готовые результаты по этим калибрам (рис. 62 и 63) приводим в табл. 16.

39. Определение размеров заготовки

Высота прямоугольной заготовки, задаваемой в первый по ходу прокатки (или пятый по ходу расчета) зетовый калибр, составит

$$H_0 \approx 53 \text{ мм},$$

ширина заготовки (4.25):

$$B_0 = 2b_x + l_x - Z = 2 \cdot 29,4 + 38,4 - 10,2 = 87 \text{ мм}$$

и площадь поперечного сечения:

$$Q_0 = H_0 B_0 = 53 \cdot 87 = 4610 \text{ мм}^2.$$

40. Проверка условий захвата металла валками

Угол захвата (4.39):

$$\begin{aligned} \alpha_3 &= 2 \arcsin \sqrt{\frac{H_0 + l_y - 2a}{2D'_y}} = \\ &= 2 \arcsin \sqrt{\frac{53 + 44,8 - 2 \cdot 33,8}{2 \cdot 377,4}} = 23^\circ \end{aligned}$$

допустим при наличии на валках негрубой насечки по захватывающим участкам ручьев.

41. Проверка прочности валков

Ордината, определяющая положение заготовки в валках (1.53):

$$z_0 = 0,5(D - H_0) = 0,5(400 - 53) = 173,5 \text{ мм}.$$

Контактная поверхность металла с верхним (или нижним) валком на прямом участке по внешней грани полки (1.56):

$$\begin{aligned} F_x^I &= \frac{1}{8 \operatorname{tg} \alpha} \left\{ \left(D_y + \frac{2}{3} b \sin \alpha \right) \sqrt{\left(D_y + \frac{2}{3} b \sin \alpha \right)^2 - 4z_0^2} - \right. \\ &\quad \left. - D_y \sqrt{D_y^2 - 4z_0^2} - \right. \\ &\quad \left. - 4z_0^2 \ln \left[\frac{D_y + \frac{2}{3} b \sin \alpha + \sqrt{\left(D_y + \frac{2}{3} b \sin \alpha \right)^2 - 4z_0^2}}{D_y + \sqrt{D_y^2 - 4z_0^2}} \right] \right\} = \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &= \frac{1}{8 \cdot 0,364} \left\{ \left(355 + \frac{2}{3} 30,4 \cdot 0,342 \right) \times \right. \\ &\quad \times \sqrt{\left(355 + \frac{2}{3} \cdot 30,4 \cdot 0,342 \right)^2 - 4 \cdot 173,5^2} - \\ &\quad \left. - 355 \sqrt{355^2 - 4 \cdot 173,5^2} - 4 \cdot 173,5^2 \times \right. \\ &\quad \times \ln \left[\frac{355 + \frac{2}{3} 30,4 \cdot 0,342}{355 + \sqrt{355^2 - 4 \cdot 173,5^2}} + \right. \\ &\quad \left. + \frac{\sqrt{\left(355 + \frac{2}{3} 30,4 \cdot 0,342 \right)^2 - 4 \cdot 173,5^2}}{355 + \sqrt{355^2 - 4 \cdot 173,5^2}} \right] \right\} = 422 \text{ мм}^2 \end{aligned}$$

Контактная поверхность металла с верхним (или нижним) валком на изогнутом участке по внешней грани полки (1.57):

$$\begin{aligned} F_x^{II} &= \frac{1}{8 \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}} \left\{ D_R \sqrt{D_R^2 - 4z_0^2} - \right. \\ &\quad \left. - \left(D_y + \frac{2}{3} b \sin \alpha \right) \sqrt{\left(D_y + \frac{2}{3} b \sin \alpha \right)^2 - 4z_0^2} - \right. \\ &\quad \left. - 4z_0^2 \ln \left[\frac{D_R + \sqrt{D_R^2 - 4z_0^2}}{D_y + \frac{2}{3} b \sin \alpha + \sqrt{\left(D_y + \frac{2}{3} b \sin \alpha \right)^2 - 4z_0^2}} \right] \right\} = \\ &= \frac{1}{8 \cdot 0,176} \left\{ 368,8 \sqrt{368,8^2 - 4 \cdot 173,5^2} - \right. \\ &\quad \left. - \left(355 + \frac{2}{3} 30,4 \cdot 0,342 \right) \sqrt{\left(355 + \frac{2}{3} 30,4 \cdot 0,342 \right)^2 - 4 \cdot 173,5^2} - \right. \\ &\quad \left. - 4 \cdot 173,5^2 \times \right. \\ &\quad \left. \times \ln \left[\frac{368,8 \sqrt{368,8^2 - 4 \cdot 173,5^2}}{355 + \frac{2}{3} 30,4 \cdot 0,342 + \sqrt{\left(355 + \frac{2}{3} 30,4 \cdot 0,342 \right)^2 - 4 \cdot 173,5^2}} \right] \right\} = \\ &= 1065 \text{ мм}^2. \end{aligned}$$

Так как по ширине калибра протяженность участка ножки (1.58):

$$l_{x_1} = l_x - \frac{(h_n + r) \sin(\varphi - \beta)}{\cos \varphi} = 38,4 - \frac{(22 + 22) \sin(39^\circ 25' - 27^\circ 30')}{\cos 39^\circ 25'} = 26,7 \text{ мм},$$

то контактная поверхность металла с валком на участке ножки (1.63):

$$F_x''' = \frac{1}{8 \operatorname{tg} \beta} \left\{ (D_y + 2l_{x_1} \operatorname{tg} \beta) \sqrt{(D_y + 2l_{x_1} \operatorname{tg} \beta)^2 - 4z_0^2} - D_y \sqrt{D_y^2 - 4z_0^2} - 4z_0^2 \ln \left[\frac{D_y + 2l_{x_1} \operatorname{tg} \beta + \sqrt{(D_y + 2l_{x_1} \operatorname{tg} \beta)^2 - 4z_0^2}}{D_y + \sqrt{D_y^2 - 4z_0^2}} \right] \right\} = \frac{1}{8 \cdot 0,52} \left\{ (355 + 2 \cdot 26,7 \cdot 0,52) \times \sqrt{(355 + 2 \cdot 26,7 \cdot 0,52)^2 - 4 \cdot 173,5^2} - 355 \sqrt{355^2 - 4 \cdot 173,5^2} - 4 \cdot 173,5^2 \times \ln \left[\frac{355 + 2 \cdot 26,7 \cdot 0,52 + \sqrt{(355 + 2 \cdot 26,7 \cdot 0,52)^2 - 4 \cdot 173,5^2}}{355 + \sqrt{355^2 - 4 \cdot 173,5^2}} \right] \right\} = 1635 \text{ мм}^2.$$

Так как протяженность участка полки по внутренней грани второй полки (1.64):

$$b_{x_1} = l_x + b_x - l_{x_1} = 38,4 + 29,4 - 26,7 = 41,1 \text{ мм},$$

то контактная поверхность металла с верхним (или нижним) валком по внутренней полки грани будет (1.65):

$$F_x^{IV} = \frac{1}{8 \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}} \left\{ (D_R' + 2b_{x_1} \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}) \sqrt{(D_R' + 2b_{x_1} \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2})^2 - 4z_0^2} - D_R' \sqrt{D_R'^2 - 4z_0^2} - 4z_0^2 \ln \left[\frac{D_R' + 2b_{x_1} \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} + \sqrt{(D_R' + 2b_{x_1} \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2})^2 - 4z_0^2}}{D_R' + \sqrt{D_R'^2 - 4z_0^2}} \right] \right\} = \frac{1}{8 \cdot 0,176} \left\{ (362,6 + 2 \cdot 41,1 \cdot 0,176) \times \sqrt{(362,6 + 2 \cdot 41,1 \cdot 0,176)^2 - 4 \cdot 173,5^2} - 362,6 \sqrt{362,6^2 - 4 \cdot 173,5^2} - 4 \cdot 173,5^2 \times \ln \left[\frac{362,6 + 2 \cdot 41,1 \cdot 0,176 + \sqrt{(362,6 + 2 \cdot 41,1 \cdot 0,176)^2 - 4 \cdot 173,5^2}}{362,6 + \sqrt{362,6^2 - 4 \cdot 173,5^2}} \right] \right\} = 2490 \text{ мм}^2.$$

Полная контактная поверхность металла с валком (1.66):

$$F_x = F_x^I + F_x^{II} + F_x^{III} + F_x^{IV} = 422 + 1065 + 1635 + 2490 = 5612 \text{ мм}^2.$$

Полная контактная поверхность, определенная через среднее обжатие (1.22):

$$F = \pi \sqrt{R_c \Delta h_c} = 97,2 \sqrt{185 \cdot 21,7} = 6170 \text{ мм}^2,$$

отличается от поверхности, определенной по элементам примерно на 10%. Очевидно для правильных зетовых калибров полную

контактную поверхность металла с валками можно определять достаточно точно как по элементам, так и упрощенно.

Удельное сопротивление стали (Ст. 2) при статическом сжатии (1.40):

$$k = (14 - 0,01 t) (1,4 + C + Mn + 0,3 Cr) = \\ = (14 - 0,01 \cdot 970) (1,4 + 0,09 + 0,60) = 9 \text{ кг/мм}^2.$$

При коэффициенте

$$\delta = f \sqrt{\frac{4R_c}{\Delta h_c}} = 0,565 \sqrt{\frac{4 \cdot 185}{21,7}} = 3,3$$

и относительном обжатии (1.28):

$$\epsilon_n = \frac{\Delta h_c}{H_c} = \frac{21,7}{52,8} = 0,41$$

по кривым Целикова (рис. 4 и 5) устанавливаем коэффициент напряженного состояния

$$\left| \frac{p}{k} \right| = 1,55$$

и определяем удельное давление (1.29):

$$p = k \left| \frac{p}{k} \right| = 9 \cdot 1,55 = 14 \text{ кг/мм}^2.$$

Полное давление металла на один валок (1.21):

$$P = pF = 14 \cdot 5612 = 78500 \text{ кг.}$$

Имея в виду, что первый по ходу прокатки зетовый калибр может быть расположен на валках после прямоугольного калибра шириной ~ 100 мм, и учитывая при этом ширину двух буртов, установим положение этого зетового калибра на бочке валков от точки опоры по шейке валка на расстоянии ~ 40 см. Тогда изгибающий момент на бочке валка (1.19):

$$M_0 = P \left(\frac{\Gamma D}{\Gamma + D} - \frac{ш}{8} \right) = 78500 \left(\frac{105 \cdot 40}{105 + 40} - \frac{9,72}{8} \right) = \\ = 2170000 \text{ кг} \cdot \text{см.}$$

Изгибающий момент по шейке валка (1.20):

$$M_{ш} = \frac{P l_{ш} \Gamma}{2(\Gamma + D)} = \frac{78500 \cdot 22 \cdot 105}{2 \cdot 145} = 625000 \text{ кг} \cdot \text{см.}$$

С учетом уменьшения диаметра валков вследствие переточек на 10% напряжение изгиба по бочке валка (1.42):

$$\sigma_0 = \frac{M_0}{0,1 \cdot 0,9^3 \cdot D^3} = \frac{2170000}{0,1 \cdot 0,9^3 \cdot 35,5^3} = 666 \text{ кг/см}^2.$$

Напряжение изгиба в шейках валков (1.43):

$$\sigma_{ш} = \frac{M_{ш}}{0,1 d^3} = \frac{625000}{0,1 \cdot 22^3} = 536 \text{ кг/см}^2.$$

При крутящем моменте в шейках валков (1.11):

$$M = p_{ш} \Delta h_c R_c \left(1 + \frac{f_{ш} d}{\sqrt{R_c \Delta h_c}} \right) = 14 \cdot 97,2 \cdot 21,7 \times \\ \times 18,5 \left(1 + \frac{0,1 \cdot 220}{\sqrt{185 \cdot 21,7}} \right) = 737000 \text{ кг} \cdot \text{см.}$$

Напряжения скручивания в шейках (1.44):

$$\frac{M}{0,4 \cdot d^3} = \frac{737000}{0,4 \cdot 22^3} = 173 \text{ кг/см}^2.$$

Расчетное нормальное напряжение в шейках (1.45):

$$\sigma_p = \sqrt{\sigma_{ш}^2 + 3\tau_{ш}^2} = \sqrt{536^2 + 3 \cdot 173^2} = 656 \text{ кг/см}^2.$$

Как видно напряжения изгиба по бочке валков и расчетные нормальные напряжения в шейках не превышают напряжений, допускаемых для стальных валков.

Таблица 17

Расчетные показатели калибровки правильного зета $38,5 \times 25 \times 3$

№ калибра	α°	h мм	λ	H мм	Δh мм	b мм	b^x мм	q мм ²	Q мм ²	μ	R_M мм	b_y мм
5	45	3,0	1,3	3,9	0,9	24,3	—	243	307	1,264	—	—
4	45	3,9	1,6	6,2	2,3	22,4	18,7	307	461	1,500	19,0	11,8
3	40	6,2	1,8	11,2	5,0	21,2	18,4	461	761	1,654	20,3	9,2
2	32	11,2	1,8	20,2	9,0	19,4	17,8	761	1287	1,694	23,2	7,0
1	20	20,2	1,8	36,4	16,2	17,6	17,0	1287	2040	1,584	33,6	4,0

Примечание. Размеры зета: $H' = 38,5$ мм, $b' = 25$ мм, $h' = 3$ мм, $l = 25,1$ мм, $l_y = 29$ мм.

Таблица 19

Расчетные показатели калибровки правильного зета № 10

№ калибра	α°	h мм	λ	H мм	Δh мм	b мм	b_x мм	q мм ²	Q мм ²	μ	R_m мм	b_y мм
7	45	6,5	1,20	7,8	1,3	76,0	—	1553	1832	1,180	—	—
6	45	7,8	1,40	10,9	3,1	72,1	60,2	1832	2522	1,375	61,2	34,9
5	45	10,9	1,54	16,8	5,9	71,5	59,7	2522	3745	1,484	60,6	34,6
4	45	16,8	1,54	25,9	9,1	70,6	59,0	3745	5375	1,435	59,8	34,2
3	40	25,9	1,54	39,9	14,0	66,0	57,5	5375	7655	1,424	63,0	28,9
2	32	39,9	1,54	61,5	21,6	60,6	55,5	7655	10775	1,410	72,5	21,7
1	20	61,5	1,54	95,0	33,5	54,3	52,5	10775	15700	1,454	103,5	12,4

Примечание. Размеры зета: $H' = 100$ мм, $b' = 75$ мм, $h = 6,5$ мм, $l_x = 66,2$ мм, $l_y = 75,3$ мм.

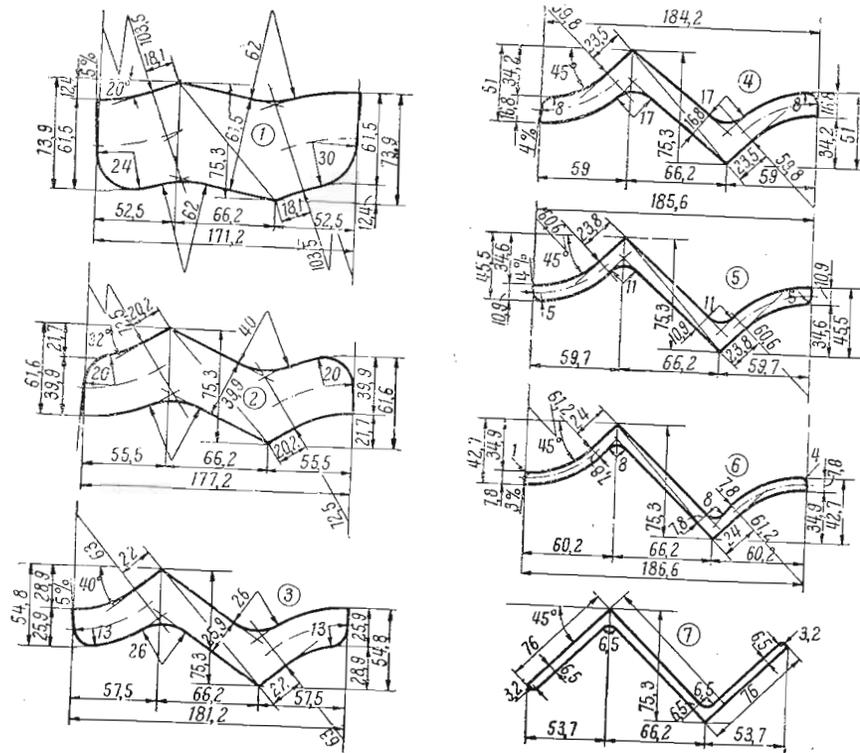


Рис. 66. Шаблоны калибров зета № 10

42. Опытная прокатка зета № 6

Для проверки в заводских условиях методики калибровки зетовых профилей был выбран зет № 6 и прокатан на трехвалковом стане 400.

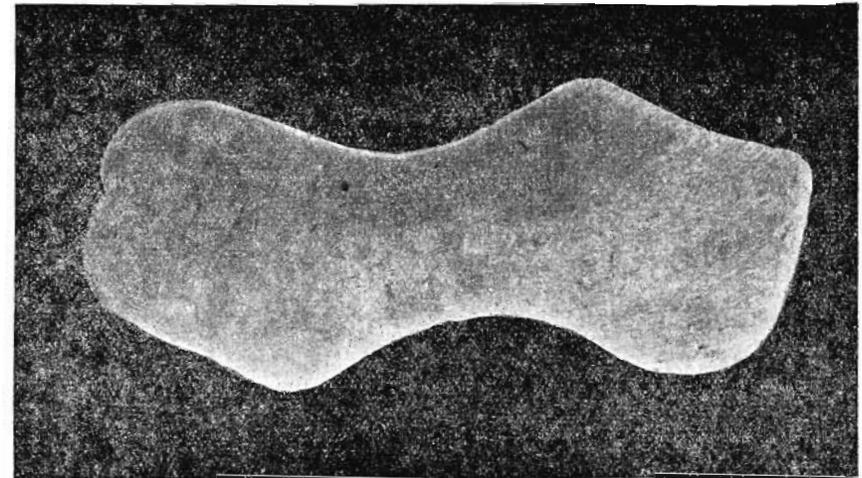


Рис. 67. Темплет от раската после первого калибра зета № 6.

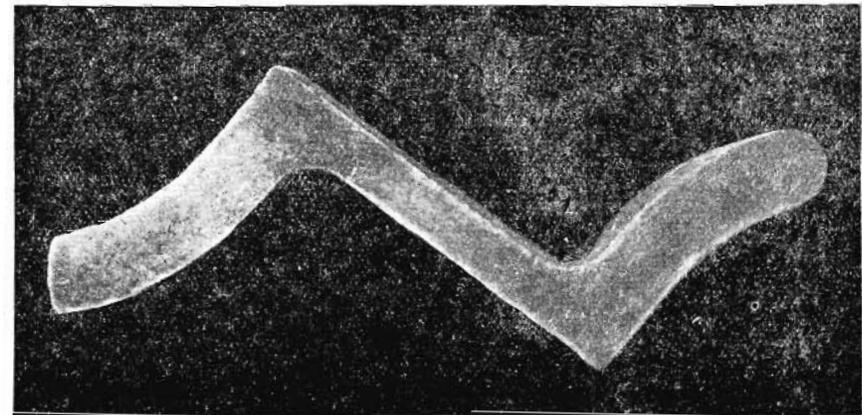


Рис. 68. Темплет от раската после четвертого (предчистового) калибра зета № 6

Опробование опытной калибровки дало с одного раза положительные результаты. По отобранным темплетам после первого (рис. 67), предчистового (рис. 68) и чистового калибров

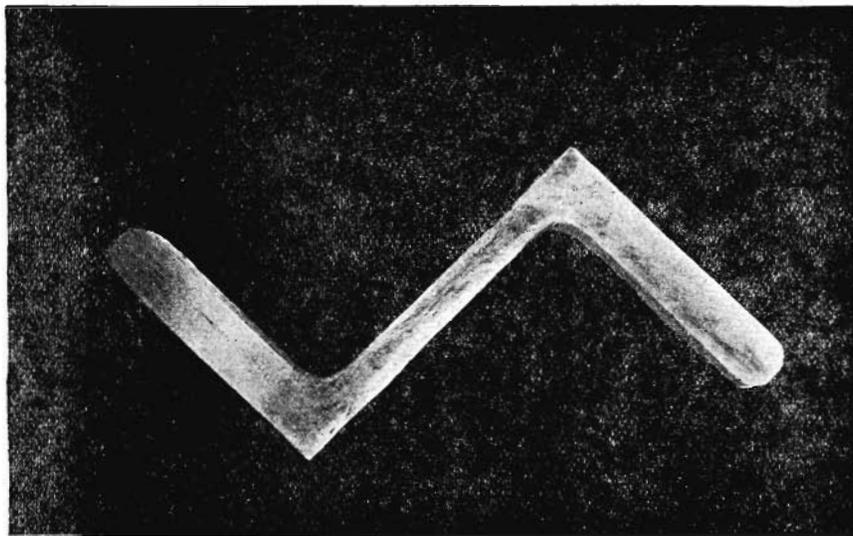


Рис. 69. Темплет от раската после пятого (чистового) калибра зета № 6

(рис. 69) можно судить о нормальном заполнении калибров металлом и установить возможность получения правильного и точного в пределах допусков профиля по калибровке, выполненной в соответствии с изложенной методикой.

ГЛАВА ПЯТАЯ

КАЛИБРОВКА НЕПРАВИЛЬНЫХ ЗЕТОВЫХ И ЗЕТООБРАЗНЫХ ПРОФИЛЕЙ

1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЗМЕРОВ И ПОСТРОЕНИЕ НЕПРАВИЛЬНЫХ ЗЕТОВЫХ КАЛИБРОВ

43. Выбор коэффициентов обжатия по элементам профиля

Неправильным зетом будем называть такой зетовый профиль (см. рис. 51 и 52), у которого полки по ширине отличны одна от другой, но толщина их так же, как и толщина ножки, равномерна.

При калибровке валков для прокатки неправильных зетовых профилей коэффициенты обжатия, соответствующие каждому элементу сечения данного калибра, должны быть сохранены по возможности одинаковыми. Однако указанное условие будет все-таки нарушено при задаче прямоугольной или квадратной заготовки в первый и реже во второй фасонный калибр, что, собственно, почти всегда неизбежно и во многих других более простых случаях.

Зетообразным профилем принято называть такой профиль, полки которого не одинаковы по ширине и не равномерны по толщине: толщина их изменяется постепенно (см. рис. 53), или в виде различных не резко выраженных выступов по одному какому-либо (рис. 54 и 55) или по всем элементам сечения одновременно.

При калибровке валков для прокатки зетообразных профилей, выбирая коэффициенты обжатия, следует различать два возможных варианта неравномерности сечения профиля:

1) выступы по основным элементам зетообразного сечения невелики и

2) выступы по величине значительны и резко выражены.

В первом случае (см. рис. 54) можно прийти к фасонному калибру, имеющему форму почти обычного неправильного зетового калибра. Достигается это тем, что во всех подготовительных калибрах, за исключением чистового и предотделочного, коэффициенты обжатия для утолщенных элементов принимаются меньшими, нежели в основных элементах сечения и, таким образом,

коэффициенты обжатия в подготовительных калибрах для различных участков профиля не остаются постоянными.

Во втором случае, т. е. когда выступы по основным элементам сечения резко выражены (см. рис. 55), следует каждый элемент рассматривать самостоятельно и сохранять для него в данном калибре коэффициенты обжатия одинаковыми. Ясно, что при этом до конца калибр будет иметь сложную зетообразную форму (см. рис. 80). В зависимости от формы первого зетообразного калибра заготовка в него может задаваться плашмя или на диагональ.

Предусмотреть все разнообразие различных форм зетообразных сечений не представляется возможным. Следует иметь в виду, что иногда в некоторых калибрах характер деформации металла будет не похож на деформацию во всех остальных калибрах.

Так, например, для зетовых профилей, у которых ножка значительно толще полки, чтобы уменьшить разницу в толщине различных элементов сечения, в чистовом калибре, особенно при малых углах закрытия полки, необходимо деформировать ножку лишь по высоте, сохраняя ее толщину в предотделочном калибре такой же, как и в чистовом калибре (см. рис. 80). В дальнейшем за постоянную линию ножки всех других калибров можно принимать линию ножки предотделочного калибра. Далее, например, при получении сложного зетообразного профиля (рис. 80) как видно, деформация выступа во II, III и IV по ходу прокатки калибра осуществляется не только по высоте, но и по толщине, что вызывается стремлением по возможности уменьшить высоту выступа по калибрам.

Коэффициенты обжатия по калибрам при прокатке неправильных зетовых и зетообразных профилей определяются, как и прежде, в зависимости от размера профиля, диаметра валков стана и мощности главного двигателя с учетом захвата и прочности валков.

44. Чистовой калибр и задаваемое в него сечение

По условиям заданы основные размеры зетового профиля (рис. 51) в холодном состоянии:

- b'_m и b'_b — ширина малой и большой полки;
- h'_n — высота ножки;
- $v_{ш}$ — допускаемые отклонения в размерах по ширине полки и высоте ножки;
- h'_m , h'_b , h'_n — толщина малой и большой полки и толщина ножки;
- v_t — допускаемые отклонения в размерах по толщине полки и ножки;
- r' и r'_k — радиусы закругления на стыке полки с ножкой и по краям полки;

q' — площадь поперечного сечения зета, по которым должны быть установлены размеры профиля в нагретом состоянии, и основные размеры чистового калибра (рис. 70) с учетом допусков на минус.

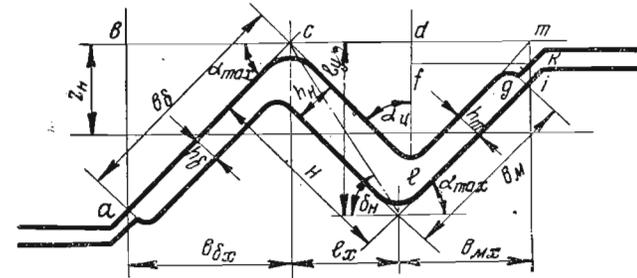


Рис. 70. Чистовой неправильный зетовый калибр

Таким образом, ширина малой полки:

$$b_m = \lambda_t (b'_m - v_{ш}); \quad (5.1)$$

ширина большой полки:

$$b_b = \lambda_t (b'_b - v_{ш}); \quad (5.2)$$

высота ножки:

$$h_n = \lambda_t (h'_n - v_{ш}); \quad (5.3)$$

толщина малой полки:

$$h_m = \lambda_t (h'_m - v_t); \quad (5.4)$$

толщина большой полки:

$$h_b = \lambda_t (h'_b - v_t); \quad (5.5)$$

толщина ножки:

$$h'_n = \lambda_t (h'_n - v_t). \quad (5.5a)$$

Радиусы закругления чистового профиля (2.3) и (2.4).

Площадь чистового неправильного зетового калибра:

$$q = h_m (b_m - h_n) + h_b (b_b - h_n) + nh_n. \quad (5.6)$$

Площадь чистового зетообразного профиля должна быть определена по элементам с учетом своеобразия формы профиля.

Так как положение в валках неправильных зетовых калибров в принципе остается таким же, как и калибров правильных зетов, то сохраняется в силе и тот же критерий для выбора угла закрытия полки чистового калибра α_{\max} и всей группы углов закрытия полки правильных зетовых калибров (см. табл. 1, 2 и 3).

Линия ножки l , ее горизонтальная и вертикальная проекции l_x и l_y , а также угол линии ножки δ_n определяются по формулам (4,6), (4,7), (4,8) и (4,9).

Построение чистового неправильного зетового калибра выполняется таким же образом, как и построение правильных зетовых калибров.

Учитывая, что ширина полок неправильного зетового калибра неодинакова, определим ширину ручьев, образующих чистовой калибр:

$$\text{Ш}_p = 1,2 (b_m + b_b) \cos \alpha_{\text{макс}} + l_x. \quad (5.7)$$

Глубина ручьев по малой полке:

$$\Gamma_{p_m} = 1,2 b_m \sin \alpha_{\text{макс}}; \quad (5.8)$$

по большой полке:

$$\Gamma_{p_b} = 1,2 b_b \sin \alpha_{\text{макс}}. \quad (5.9)$$

Ширина чистового калибра по заполнению металлом:

$$\text{ш} = [(b_m + b_b) - 0,5 (h_m + h_b) \text{tg} \alpha_{\text{макс}}] \cos \alpha_{\text{макс}} + l_x. \quad (5.10)$$

Средняя толщина чистового профиля представится в общем виде (1.25):

$$h_c = \frac{q}{\text{ш}}.$$

При выбранном режиме деформации и коэффициентах обжатия по элементам определится толщина каждого элемента профиля (2.10), обжатие за пропуск (2.11) и (1.23), средний катающий радиус валков по калибру (1.26), все промежуточные величины, необходимые для определения уширения полок, и уширение по Бахтинову (2.12) или иным способом.

Площадь поперечного сечения неправильного зетового раската со спрямленными полками, задаваемого в чистовой калибр, достаточно точно представится так:

$$Q = H_m (B_m - 0,5 H_m \text{tg} \alpha) + H_b (B_b - 0,5 H_b \text{tg} \alpha) + \frac{l_x H_n}{\cos \beta}, \quad (5.11)$$

где H_m , H_b и H_n — толщина малой и большой полки и толщина ножки зетового раската, задаваемого в чистовой калибр;

B_m и B_b — ширина спрямленных малой и большой полок раската;

β — угол закрытия ножки (4.36).

Коэффициент вытяжки за пропуск определится как и прежде (2.16).

45. Общее число неправильных зетовых и зетообразных калибров

Общее число неправильных зетовых и зетообразных калибров определится из того же условия, что и при калибровке правильных зетовых профилей (рис. 57).

Полная вертикальная проекция полки в первом по ходу прокатки фасонном калибре должна быть по величине близка к вертикальной проекции ножки (4.18), но не больше ее; при этом из двух полок в расчет принимается та, для которой сумма $h + b_y$ является большей.

Таким образом, количество фасонных калибров ограничивается толщиной полки в первом по ходу прокатки фасонном калибре и зависит, при данных условиях, от степени деформации металла по пропускам.

Следует еще добавить, что в том случае, когда конечный профиль имеет ножку по толщине большую нежели полки, общее количество фасонных калибров ограничивается толщиной самой ножки, которая не должна превышать вертикальную проекцию постоянной линии ножки (рис. 76).

46. Развернутые неправильные зетовые калибры

Предчистовой и подготовительные калибры неправильных зетовых и зетообразных профилей так же, как и при калибровке правильных зетов, выполняются развернутыми (рис. 71), при этом:

1. Прямые участки полок ac'' и bd'' составляют соответственно одну треть ширины каждой полки.
2. Изогнутые участки полок образуются как дуги с постоянным радиусом кривизны — малой полки:

$$R_{mm} = \frac{2b_y}{3\alpha}; \quad (5.12)$$

большой полки:

$$R_{bm} = \frac{2b_b}{3\alpha}, \quad (5.13)$$

центры которых находятся на пограничных вертикалях калибра fg и $f'g'$.

3. Линия ножки l как в чистовом и предчистовом, так и в подготовительных калибрах сохраняет постоянное положение, определяемое углом линии ножки δ_n (4.9).

Ширина каждой полки развернутого предчистового и подготовительных неправильных зетовых и зетообразных калибров (2.19), (2.37), горизонтальные и вертикальные проекции полок (2.22), (2.25), большие радиусы кривизны полок (2.27) и радиу-

сы закругления на стыке полок с ножкой и по краям полок на дне матричных ручьев (2.28), (2.29), (2.30), (2.31) и (2.32), выпуск калибров (2.33), приращение ширины калибра по ходу прокатки (2.34), горизонтальные проекции (2.36) и ширина по-

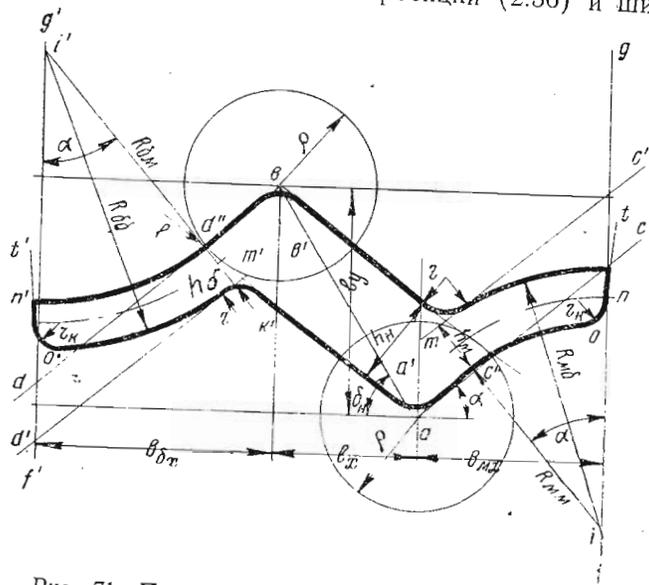


Рис. 71. Построение развернутого неправильного зетового калибра

лок задаваемого в калибр зетового раската (2.37) определяются таким же образом, как и при калибровке правильных зетов, а точнее, как и при калибровке угольников.

Площадь развернутого неправильного зетового калибра достаточно точно может быть представлена без учета закруглений:

$$q = h_m [b_m - 0,5 h_m (\operatorname{tg} \alpha - \alpha)] + h_b [b_b - 0,5 h_b (\operatorname{tg} \alpha - \alpha)] + \frac{l_x h_n}{\cos \beta} \quad (5.14)$$

Аналогично площадь развернутого зетового раската, задаваемого в калибр, составит:

$$Q = H_m [B_m - 0,5 H_m (\operatorname{tg} \alpha - \alpha)] + H_b [B_b - 0,5 H_b (\operatorname{tg} \alpha - \alpha)] + \frac{l_x H_n}{\cos \beta} \quad (5.15)$$

Коэффициент вытяжки за пропуск определится как отношение площадей поперечного сечения раската до и после пропуска (2.16).

После определения основных калибровочных данных можно приступить к построению калибра. С этой целью наносится прямоугольник (рис. 71) с основанием (4.7)

$$l_x = (n - h_n \operatorname{ctg} \alpha) \sin \alpha$$

и высотой (4.8)

$$l_y = (n + h_n \operatorname{tg} \alpha) \cos \alpha,$$

диагональ которого (4.6)

$$l = \sqrt{n^2 + h_n^2}$$

является линией ножки.

Далее через точки a и b проводятся две наклоненные к горизонтали под углом α линии ac и bd и к каждой из них на расстоянии соответственно h_m и h_b по одной им параллельной $a'c'$ и $b'd'$. Из точек a и b , как из центров, описываются окружности радиусом

$$\rho = h_n$$

и к этим окружностям проводятся общие касательные ae и be' , определяющие, таким образом, контур и положение ножки по отношению к полкам. Из точек a и b по линиям ac и bd откладываются отрезки ac'' и bd'' , равные одной трети соответствующей ширины полки и на расстоянии b_{mx} от точки a , а также на расстоянии b_{cx} от точки b проводятся вертикали fg и $f'g'$. Затем из точек c'' и d'' , как из центров, радиусами R_{mm} и R_{bm} делаются засечки i и i' на линиях fg и $f'g'$, служащие центрами дуг изогнутых участков полок. Точки c'' и d'' являются точками сопряжения прямых участков полок с изогнутыми.

Чередую всякий раз для смежных калибров разъем калибра то сверху, то снизу, через точки n и n' проводим наклоненные по отношению к вертикали линии ot и $o't'$ с уклоном i , с таким расчетом, чтобы по месту разъема калибра в матричном ручье образовался выпуск. После этого на стыке полок с ножкой и по краям полок выполняются закругления.

Для зетообразных профилей затруднительно дать универсальный способ построения калибров. Основные положения при построении калибров зетообразного профиля сохраняются те же, что и при построении калибров правильного и неправильного зетового железа, но обычно с некоторыми дополнениями или изменениями.

Так, при построении калибров зетообразного профиля для сельскохозяйственных машин (рис. 80), кроме основного очертания, каждый калибр имеет еще выступ. Так как коэффициент обжатия во всех элементах калибра сохраняется одинаковым, то площадь сечения выступа из калибра в калибр увеличивается и выступы становятся все более резко выраженными. В ре-

Расчетные показатели калибровки неправильного зета 51 × 41 × 5 × 6

Таблица 20

Вид зета	α°	α	Большая полка												Малая полка							
			λ	h _б	H _б	H _б	Δh _б	b _{бх}	Δb _х	B _{бх}	b _б	B _б	Δb	b _{бу}	R _{бм}	R _{бб}	h _м	H _м	Δh _м	b _{мх}	Δb _х	
5	45	—	1,20	5,0	6,0	—	1,0	—	—	50,6	49,1	2,5	22,8	39,8	—	6,0	7,2	1,2	—	—	—	—
4	45	0,785	1,30	6,0	7,8	—	1,839	1,0	—	538,6	46,8	44,3	19,4	42,4	45,8	7,2	9,4	2,2	30,3	—	—	—
3	40	0,698	1,50	7,8	11,7	—	3,938	6,0	0,737	9	41,4	2,9	19,4	42,4	50,2	9,4	14,1	5,3	29,8	—	—	—
2	32	0,558	1,50	11,7	17,5	—	5,837	9,1	1,136	8	38,1	3,3	14,9	49,5	61,2	14,1	21,2	7,1	29,1	—	—	—
1	20	0,349	—	17,5	—	—	—	—	—	36,8	—	—	8,7	72,8	90,3	21,2	—	—	28,0	—	—	—

Продолжение табл. 20

Z	Малая полка						Ножка						Верхний валок						Нижний валок											
	B _{мх}	b _м	B _м	Δb	R _{мм}	R _{мг}	h _н	H _н	Δh _н	Ш	q	h _с	H _с	Δh _с	R _с	α _с	t	f	α _с	f	α _с	f	D _{ум}	D _{км}	D _{кб}	D _{уб}	D _{ум}	D _{кб}	D _{кб}	D _{уб}
5	—	40,5	39,0	—	—	—	10,0	12,0	2,0	83,8	81,6	9,7	11,6	1,9	195	0,099	850	0,500	—	—	—	—	364,2	446,8	359,2	410,2	364,2	432,8	345,2	414,4
4	29,8	36,2	34,3	1,9	17,6	30,8	12,0	15,6	3,6	92,7	90,9	9,8	12,7	2,9	195	0,122	880	0,488	—	—	—	—	364,2	406,6	386,2	406,4	364,2	399,4	381,4	411,2
3	29,1	34,3	31,8	2,5	15,0	32,8	15,6	23,4	7,8	91,7	115	12,2	18,3	6,1	194	0,177	910	0,595	—	—	—	—	362	400,8	388,0	407,4	363,2	393,2	383,8	40,2
2	28,0	31,8	29,0	2,8	11,4	38,0	23,4	35,1	11,7	90,3	1529	16,9	25,4	8,5	192	0,210	940	0,580	—	—	—	—	362	391,8	385,8	390,0	363,2	386,0	384,8	393,2
1	—	29,0	—	—	—	—	—	—	—	88,1	2096	23,8	43,0	19,2	188	0,319	970	0,565	—	—	—	—	364	381,4	383,2	361,2	374,4	383,6	—	—

Окончание табл. 20

Z	δ _н	γ	β	Q	μ	Z _н	τ	φ	φ'	u	u'	Верхний валок		Нижний валок	
												D _{уб}	D _{кб}	D _{ум}	D _{кб}
5	1,5	58°05'	13°05'	45°00'	909,1	115	19,5	3,0	31°40'	12,3	12,8	361	446,8	359,2	410,2
4	2,5	58°05'	15°50'	42°15'	1115,1	226	19,6	3,6	29°35'	13,9	14,7	361	406,6	386,2	406,4
3	5,1	58°05'	20°40'	37°25'	1529,1	370	19,2	5,0	22°30'	16,5	17,6	362	400,8	388,0	407,4
2	6,0	58°05'	32°00'	26°05'	2096,1	372	18,8	10,0	8°05'	22,4	23,4	362	391,8	385,8	390,0
1	10,7	58°05'	52°40'	5°25'	3350,1	598	18,1	—	—	—	—	364	381,4	383,2	361,2

Примечание. Размеры зета: высота ножки H_н=43 мм. Горизонтальная проекция линии ножек L_н=23,3 мм. Вертикальная проекция линии ножек L_у=37,4 мм.

зультате этого, как видно, первые два по ходу прокатки фасонных калибра по форме приблизились к тавру.

При калибровке валков для прокатки неправильных зетовых и зетообразных профилей часто приходится предусматривать дополнительные фасонные калибры грубой формы; построение их обычно выходит из общих норм и правил, на основании которых построены другие калибры данного профиля.

При калибровке валков для прокатки зетообразного профиля для сельскохозяйственных машин понадобилось предусмотреть дополнительный фасонный калибр — шестой по ходу расчета, отличающийся от пятого калибра лишь в верхней части. Конфигурация верхней части дополнительного калибра определена тем обстоятельством, что в этот тавровый калибр квадратная заготовка задается на диагональ.

В соответствии с изложенной методикой калибровки валков для прокатки неправильных зетовых и зетообразных профилей, выполнена калибровка имеющихся по ОСТ и вне ОСТ зетов (табл. 20—23) и построены калибры неправильных зетовых и зетообразных профилей (см. рис. 76—80).

Приведенные рисунки позволяют судить о форме калибров различных неправильных зетовых и сложных зетообразных профилей.

47. Размеры заготовки

Как уже было сказано, коэффициенты обжатия во всех элементах первого фасонного неправильного зетового или зетооб-

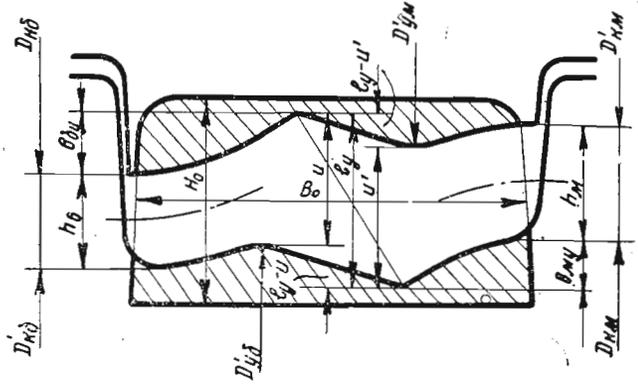


Рис. 72. Задача заготовки в неправильный зетовый калибр

разного калибра сохранить одинаковыми не представляется возможным.

Речь может идти в данном случае лишь о среднем коэффициенте обжатия для всего сечения. Поэтому и высоту заготовки

следует определять через коэффициент обжатия и среднюю высоту первого по ходу прокатки (или последнего по ходу расчета) фасонного калибра:

$$H_0 = \lambda h_c \quad (5.15a)$$

с последующей проверкой условий захвата металла валками.

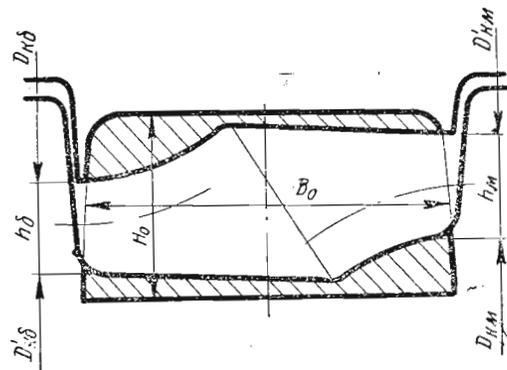


Рис. 73. Задача заготовки в неправильный зетовый калибр

Ширина заготовки будет определяться в общем случае горизонтальной проекцией малой и большой полки первого фасонного калибра и линии ножки (рис. 72 и 73), при этом будем иметь:

$$B_0 = b_{мх} + b_{бх} + l_x - Z, \quad (5.16)$$

где B_0 — ширина заготовки, мм;
 $b_{мх}$, $b_{бх}$ и l_x — горизонтальные проекции малой и большой полок и линии ножки, мм;
 Z — уширение обеих полок, мм.

II. МОНТАЖ КАЛИБРОВ В ВАЛКАХ

На основании сделанных ранее выводов относительно положения нейтральной линии фасонного калибра, ее ордината для неправильных зетовых и зетообразных калибров в общем виде определяется по формуле (1.82).

48. Нейтральная линия неправильных зетовых калибров

Вследствие того, что для неправильных зетовых и зетообразных калибров первый член числителя формулы (1.82) площадь Φ , относящаяся к верхнему валку, в общем случае не равна площади Φ' , относящейся к нижнему валку, определение орди-

наты нейтральной линии этих калибров по сравнению с правильным зетовым калибром усложняется. Однако и в этом случае ординату нейтральной линии калибра можно выразить аналитически.

Первый член числителя уравнения (1.82) для неправильных развернутых зетовых калибров (рис. 74) может быть определен

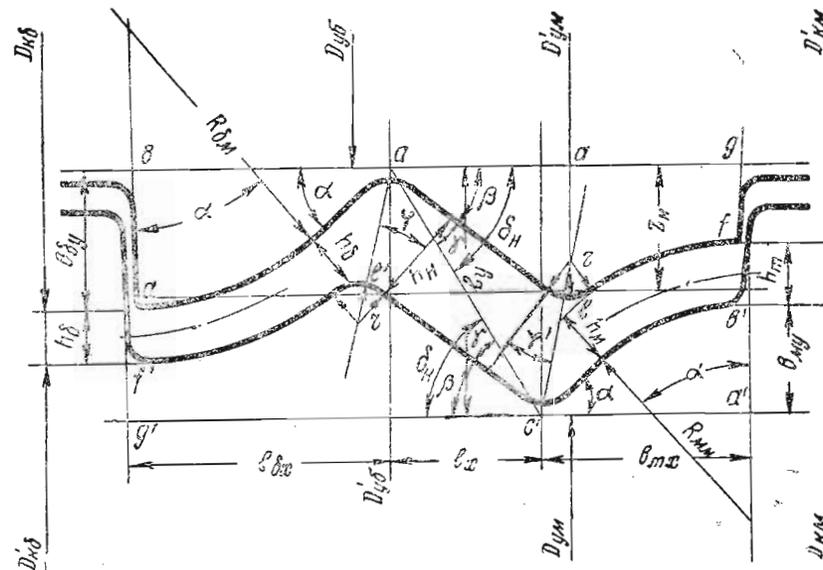


Рис. 74. Нейтральная линия и катающие диаметры валков по ручьям развернутого неправильного зетового калибра

как сумма площадей abc и $cgfe$, обозначаемых в дальнейшем через Φ_1 и Φ_2 .

1. Очевидно, что

$$\Phi_1 = \frac{b_б}{6} (b_{бх} + R_{бм} \sin \alpha) \sin \alpha + 0,5 R_{бм}^2 \left(\alpha - \frac{\sin 2\alpha}{2} \right),$$

и после подстановки

$$b_{бх} = \frac{b_б}{3} \left(\cos \alpha + \frac{2 \sin \alpha}{\alpha} \right)$$

и

$$R_{бм} = \frac{2b_б}{3\alpha}$$

будем иметь:

$$\Phi_1 = \frac{b_0^2}{9} \left[0,5 \left(\cos \alpha + \frac{4 \sin \alpha}{\alpha} \right) \sin \alpha + \frac{2}{\alpha^2} \left(\alpha - \frac{\sin 2\alpha}{2} \right) \right]. \quad (5.17)$$

Обозначая постоянную зетового калибра через

$$C_H = \frac{1}{9} \left[0,5 \left(\cos \alpha + \frac{4 \sin \alpha}{\alpha} \right) \sin \alpha + \frac{2}{\alpha^2} \left(\alpha - \frac{\sin 2\alpha}{2} \right) \right], \quad (5.18)$$

получим по большой полке:

$$\Phi_1 = C_H b_0^2. \quad (5.19)$$

Точно так же по малой полке:

$$\Phi_1 = C_H b_M^2; \quad (5.20)$$

2. Площадь Φ_2 достаточно точно может быть представлена по отношению малой полки так:

$$\Phi_2 = 0,5 l_x^2 \operatorname{tg}^2 \beta + l_y b_{Mx} - h_M [b_M - 0,5 h_M (\operatorname{tg} \alpha - \alpha)] - C_H b_M^2. \quad (5.21)$$

Точно так же по отношению большой полки:

$$\Phi_2 = 0,5 l_x^2 \operatorname{tg}^2 \beta + l_y b_{0x} - h_0 [b_0 - 0,5 h_0 (\operatorname{tg} \alpha - \alpha)] - C_H b_0^2. \quad (5.22)$$

Полная искомая площадь Φ или Φ' формулы (1.82) образуется из суммы площадей Φ_1 и Φ_2 , определяемых из равенств (5.19 и (5.21):

$$\Phi = 0,5 l_x^2 \operatorname{tg}^2 \beta + l_y b_{Mx} - h_M [b_M - 0,5 h_M (\operatorname{tg} \alpha - \alpha)] + C_H (b_0^2 - b_M^2) \quad (5.23)$$

или из равенств (5.20) и (5.22):

$$\Phi' = 0,5 l_x^2 \operatorname{tg}^2 \beta + l_y b_{0x} - h_0 [b_0 - 0,5 h_0 (\operatorname{tg} \alpha - \alpha)] - C_H (b_0^2 - b_M^2). \quad (5.24)$$

Таким образом, имеются все необходимые данные для определения ординаты нейтральной линии неправильных развернутых зетовых калибров, а именно:

площадь Φ или Φ' (5.23) или (5.24);

площадь калибра q (5.14);

ширина развернутого зетового калибра

$$ш = b_{Mx} + b_{0x} + l_x. \quad (5.25)$$

Тогда ордината нейтральной линии калибра (1.82):

$$Z_H = \frac{\Phi + 0,5 q}{ш}.$$

Вследствие того, что зетообразные профили не подчиняются какому-либо определенному закону и по форме могут быть самыми разнообразными, дать для них универсальное аналитическое уравнение ординаты нейтральной линии не представляется возможным. Однако уравнением (1.82) можно пользоваться и для самых сложных конфигураций зетовых калибров, внося при этом соответствующие коррективы при нахождении составляющих числителя.

Для чистового калибра с прямыми полками (см. рис. 70) первый член числителя Φ уравнения (1.82) определится как сумма площадей треугольников abc , cde , efg , gik и площади прямоугольника $dfkm$, которые обозначим соответственно через f_1 , f_2 , f_3 , f_4 и f_5 .

Площадь каждого из треугольников:

$$f_1 = 0,5 b_0^2 \sin \alpha_{\max} \cos \alpha_{\max};$$

$$f_2 = 0,5 (h - h_M)^2 \sin \alpha_{\max} \cos \alpha_{\max};$$

$$f_3 = 0,5 (b_M - h_N)^2 \sin \alpha_{\max} \cos \alpha_{\max};$$

$$f_4 = 0,5 h_M^2 \sin \alpha_{\max} \cos \alpha_{\max};$$

а площадь прямоугольника

$$f_5 = [(h - h_M) \cos \alpha_{\max} - (b_M - h_N) \sin \alpha_{\max}] [h_M \sin \alpha_{\max} + (b_M - h_N) \cos \alpha_{\max}].$$

Суммируя все эти площади, после преобразования получим для чистового калибра:

$$\Phi = 0,25 [b_0^2 + h^2 - (b_M - h_N)^2] \sin 2\alpha_{\max} + (b_M - h_N) \times (h \cos^2 \alpha_{\max} - h_M). \quad (5.26)$$

Площадь (5.6) и ширина (6.10) чистового неправильного зетового калибра были определены раньше.

49. Катающие диаметры валков по ручьям неправильных зетовых калибров

Принцип и методика определения катающих диаметров валков неправильных зетовых и зетообразных калибров остаются такими же, как и калибров правильного зетового профиля, поэтому и некоторые формулы, устанавливающие катающие диаметры, сохраняются по виду общими.

Так, для верхнего валка (см. рис. 74) катающий диаметр у вершины угла калибра, относительно которого найдена ордината нейтральной линии, представится так:

$$D_{yб} = D - 2Z_{н}. \quad (5.27)$$

Но для нижнего валка катающий диаметр, относящийся ко второй противоположной вершине угла калибра, поскольку ордината нейтральной линии относительно этой вершины отличается от первой, будет уже определяться иначе, а именно:

$$D_{yм} = 2(D - l_y) - D_{yб}. \quad (5.28)$$

Катающий диаметр верхнего валка у края калибра по внешней кромке большой полки:

$$D_{кб} = D_{yб} + 2C_{в} b_{б}. \quad (5.29)$$

Катающий диаметр нижнего валка у края калибра по внутренней кромке большой полки:

$$D'_{кб} = 2(D - h_{б}) - D_{кб}. \quad (5.30)$$

Катающий диаметр нижнего валка у края калибра по внешней кромке малой полки:

$$D_{км} = D_{yм} + 2C_{в} b_{м}. \quad (5.31)$$

Катающий диаметр верхнего валка у края калибра по внутренней кромке малой полки:

$$D'_{км} = 2(D - h_{м}) - D_{км}. \quad (5.32)$$

Далее представим катающие диаметры валков по внутренним вершинам углов неправильных зетовых калибров. С этой целью, как и прежде определим основные углы калибра, а также вспомогательный угол φ , относящийся к верхнему валку:

$$\varphi = \arctg \left[\frac{h_{б} + r}{(h_{н} + r) \sin(\alpha + \beta)} - \operatorname{ctg}(\alpha + \beta) \right], \quad (5.33)$$

вспомогательный угол φ' , относящийся к нижнему валку:

$$\varphi' = \arctg \left[\frac{h_{м} + r}{(h_{н} + r) \sin(\alpha + \beta)} - \operatorname{ctg}(\alpha + \beta) \right], \quad (5.34)$$

а также вспомогательный отрезок u по верхнему валку:

$$u = \frac{(h_{н} + r) \operatorname{ctg}(\varphi - \beta)}{\cos \varphi} - r \quad (5.35)$$

и вспомогательный отрезок u' по нижнему валку:

$$u' = \frac{(h_{н} + r) \cos(\varphi' - \beta)}{\cos \varphi'} - r. \quad (5.36)$$

Тогда катающие диаметры валков по внутренним вершинам углов калибра —

для верхнего валка (относительно малой полки):

$$D'_{ум} = 2(D - u) - D_{ум}; \quad (5.37)$$

для нижнего валка (относительно большой полки):

$$D'_{уб} = 2(D - u') - D_{уб}. \quad (5.38)$$

Положение чистового неправильного зетового и зетообразного калибра в валках (рис. 75) определяется диаметрами, относящимися к внешним (5.27) и (5.28) и внутренним вершинам углов калибра (5.37) и (5.38), но при этом требуется еще знать и диаметры по краям верхнего и нижнего ручьев.

Диаметр, относящийся к краю ручья по внешней грани большей полки, для верхнего валка равен:

$$D_{кб} = D_{yб} + 2\Gamma_{рб}. \quad (5.39)$$

Таким же образом диаметр, относящийся к краю ручья по внешней грани меньшей полки, для нижнего валка составляет:

$$D_{км} = D_{yм} + 2\Gamma_{рм}. \quad (5.40)$$

Катающий диаметр верхнего валка, относящийся к краю ручья по внутренней кромке малой полки:

$$D'_{км} = 2(D - z) - D_{км}. \quad (5.41)$$

Катающий диаметр нижнего валка, относящийся к краю ручья по внутренней кромке большой полки:

$$D'_{кб} = 2(D - z) - D_{кб}. \quad (5.42)$$

Всюду, где речь идет о большой и малой полках, имеется в виду расположение калибров, представленных на рис. 70, 74 и 75, где относительно ножки большая полка расположена сверху, а меньшая — внизу. Вообще же при определении нейтральной линии калибра и катающих диаметров валков, необходимо внимательно следить за тем, чтобы правильно пользоваться формулами, относящимися к одной и другой полке в соответствии с расположением калибра.

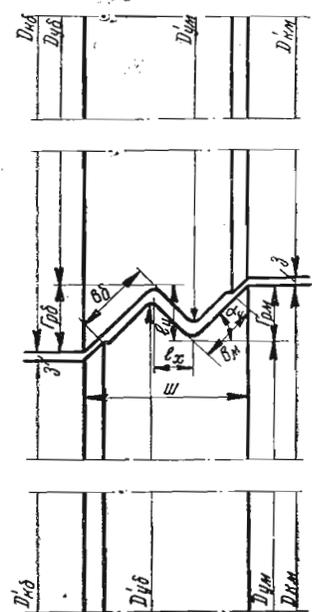


Рис. 75. Катающие диаметры валков по ручьям чистового неправильного зетового калибра

50. Захват металла валками

Наличие катающих диаметров валков в главных точках зетового калибра позволяет проверить условия захвата металла валками. Для этого необходимо прежде всего установить, в каких точках происходит захват заготовки, задаваемой в первый фасонный калибр. Точки захвата почти всегда легко установить, принимая во внимание форму калибра.

1. Для зетовых профилей, имеющих ножку равную по толщине полкам или тоньше их (рис. 72), захват заготовки в большинстве случаев осуществляется выступами верхнего и нижнего валков, относящимися к внутренним вершинам углов калибра. Так как расстояние между этими выступами равно

$$u + u' - l_y,$$

то максимальное обжатие, по которому необходимо проверить условия захвата металла валками, будет:

$$\Delta h_m = H_0 + l_y - u - u'. \quad (5.43)$$

Средний катающий диаметр валков по выступам, захватывающим заготовку, можно выразить через диаметры, определяемые из уравнений (5.44) и (5.45):

$$D_0 = 0,5 (D'_{ym} + D'_{yb}). \quad (5.44)$$

2. В зетовом калибре, имеющем ножку толще полок (рис. 72), заготовка может захватываться выступом одного из валков, по внутренней вершине угла калибра и у края, соответствующей выступу полки, т. е. у края калибра. Так как при этом расстоянии между точками захвата для одной из полок:

$$u - b_{by}$$

и таким же образом для другой полки:

$$u' - b_{my},$$

то обжатие, по которому необходимо проверить условие захвата металла валками, будет:

$$\Delta h_m = H_0 + b_{by} - u \quad (5.45)$$

или

$$\Delta h_m = H_0 + b_{my} - u'. \quad (5.46)$$

Выбирая из двух обжатий большее и выражая соответственно выбранному обжатию средний катающий диаметр в точках захвата через диаметры, определяемые из уравнений (5.29) и (5.38):

$$D_0 = 0,5 (D'_{yb} + D_{кб}) \quad (5.47)$$

или из уравнений (5.31) и (5.37):

$$D_0 = 0,5 (D'_{ym} + D_{км}), \quad (5.48)$$

а также зная связь между обжатием, катающим диаметром и углом захвата

$$\Delta h_m = 2D_0 \sin^2 \frac{\alpha_3}{2},$$

получим угол захвата:

$$\alpha_3 = 2 \arcsin \sqrt{\frac{\Delta h_m}{2D_0}}, \quad (5.49)$$

где Δh_m — обжатие, определяемое по формуле (5.43), (5.45) или (5.46), мм.

D_0 — средний катающий диаметр в точках захвата заготовки валка, определяемой по формуле (5.44), (5.45) или (5.46), мм.

3. Может быть случай, когда металл захватывается по краям калибра (см. рис. 73). При этом максимальное обжатие устанавливается обычным путем, т. е. как разность между высотой заготовки и толщиной полки (2.10); по этому обжатию и среднему катающему диаметру валков в точках захвата угол захвата определяется опять-таки по формуле (5.49).

III. КАЛИБРОВКА НЕПРАВИЛЬНОГО ЗЕТА

В соответствии с изложенной методикой калибровки неправильных зетовых и зетообразных профилей выполним калибровку неправильного зета (рис. 76), намечаемого к прокатке на стане с номинальным диаметром валков $D = 400$ мм.

51. Расчет основных калибровочных данных

Основные размеры заданного к получению неправильного зета в холодном состоянии:

Высота ножки:

$$h' = 43 \text{ мм.}$$

Ширина полок: малой $b'_m = 41$ мм и большой $b'_b = 51$ мм.

Допускаемые отклонения в размерах по ширине полок:

$$\gamma_{ш} = \pm 1 \text{ мм}$$

и высоте ножки:

$$\gamma_{ш} = \pm 0,5 \text{ мм.}$$

Толщина ножки:

$$h'_H = 10 \text{ мм.}$$

Толщина полок: малой

$$h'_M = 6 \text{ мм.}$$

и большой

$$h'_B = 5 \text{ мм.}$$

Допускаемые отклонения в размерах по толщине ножки и полок:

$$\gamma_T = 0,5 \text{ мм.}$$

Радиусы закругления на стыке полок с ножкой $r' = 3 \text{ мм}$ и по краям полок: малой $r'_K = 1,5 \text{ мм}$ и большой $r'_K = 3 \text{ мм}$. Радиусы закругления по внешним вершинам углов $r'_{\text{вн}} = 6 \text{ мм}$.

Первый (чистовой) калибр и задаваемый в него раскат

1. Высота ножки (5.3):

$$H = \lambda_t (h'_H - \gamma_{\text{ш}}) = 1,012 (10 - 0,5) = 43 \text{ мм.}$$

2. Толщина ножки:

$$h_H = \lambda_t (h'_H - \gamma_T) = 1,012 (10 - 0) \approx 10 \text{ мм.}$$

3. Ширина полок:

малой (5.1)

$$b_M = \lambda_t (b'_M - \gamma_{\text{ш}}) = 1,012 (41 - 1) = 40,5 \text{ мм;}$$

большой (5.2):

$$b_B = \lambda_t (b'_B - \gamma_{\text{ш}}) = 1,012 (51 - 1) = 50,6 \text{ мм.}$$

4. Толщина полок:

малой (5.4)

$$h_M = \lambda_t (h'_M - \gamma_T) = 1,012 (6 - 0) \approx 6 \text{ мм;}$$

большой (5.5):

$$h_B = \lambda_t (h'_B - \gamma_T) = 1,012 (5 - 0) \approx 5 \text{ мм.}$$

5. Площадь чистового калибра (5.6):

$$q = h_M (b_M - h_H) + h_B (b_B - h_H) + n h_H = 6 (40,5 - 10) + 5 (50,6 - 10) + 43 \cdot 10 = 816 \text{ мм}^2.$$

6. Радиусы закругления: $r = 3 \text{ мм}$, $r_K = 1,5 \text{ мм}$, $r_K = 3 \text{ мм}$ и $r_{\text{вн}} = 6 \text{ мм}$.

7. Так как отношение

$$\frac{b'_B}{h'} = \frac{51}{43} = 1,18$$

близко к 1, то можно выбрать группу углов закрытия (см. табл. 1) с углом закрытия полок чистового калибра $\alpha_{\text{макс}} = 45^\circ$.

8. Горизонтальная проекция линии ножки (4.7):

$$l_x = (H - h_H \operatorname{ctg} \alpha_{\text{макс}}) \sin \alpha_{\text{макс}} = (43 - 10) 0,707 = 23,3 \text{ мм.}$$

9. Вертикальная проекция линии ножки (4.8):

$$l_y = (H + h_H \operatorname{tg} \alpha_{\text{макс}}) \cos \alpha_{\text{макс}} = (43 + 10) 0,707 = 37,4 \text{ мм.}$$

10. Постоянная линия ножки (4.6):

$$l = \sqrt{H^2 + h_H^2} = \sqrt{43^2 + 10^2} = 44,2 \text{ мм.}$$

11. Основные углы калибра —
угол ножки (4.35):

$$\gamma = \operatorname{arc} \sin \left(\frac{h_H}{l} \right) = \operatorname{arc} \sin \left(\frac{10}{44,2} \right) = 13^\circ 05';$$

угол линии ножки (4.9):

$$\delta_H = \operatorname{arc} \operatorname{tg} \left(\frac{H + h_H \operatorname{tg} \alpha_{\text{макс}}}{H \operatorname{tg} \alpha_{\text{макс}} - h_H} \right) = \operatorname{arc} \operatorname{tg} \left(\frac{43 + 10}{43 - 10} \right) = 58^\circ 05';$$

угол закрытия ножки (4.36):

$$\beta = \delta_H - \gamma = 58^\circ 05' - 13^\circ 05' = 45^\circ.$$

12. Ширина ручьев верхнего и нижнего валка, образующих чистовой калибр (5.7):

$$Ш_p = 1,2 (b_M + b_B) \cos \alpha_{\text{макс}} + l_x = 1,2 (40,5 + 50,6) 0,707 + 23,3 = 100,5 \text{ мм.}$$

13. Глубина ручьев —
по малой полке (5.8):

$$\Gamma_{pM} = 1,2 b_M \sin \alpha_{\text{макс}} = 1,2 \cdot 40,5 \cdot 0,707 = 34,3 \text{ мм}$$

по большой полке (5.9):

$$\Gamma_{pB} = 1,2 b_B \sin \alpha_{\text{макс}} = 1,2 \cdot 50,6 \cdot 0,707 = 42,9 \text{ мм.}$$

14. Ширина чистового калибра по заполнению металлом (5.10):

$$Ш = [b_{\text{ш}} + b_B - 0,5 (h_M + h_B) \operatorname{tg} \alpha_{\text{макс}}] \cos \alpha_{\text{макс}} + l_x = [40,5 + 50,6 - 0,5 (6 + 5)] \cdot 0,707 + 23,3 = 83,8 \text{ мм}$$

15. Средняя толщина чистового профиля (1.25):

$$h_c = \frac{q}{ш} = \frac{816}{83,8} = 9,7 \text{ мм.}$$

16. При коэффициенте обжатия $\lambda = 1,20$ толщина ножки задаваемого в калибр раската (2.10)

$$H_H = \lambda h_H = 1,20 \cdot 10 = 12 \text{ мм.}$$

Толщина малой полки:

$$H_M = \lambda h_M = 1,20 \cdot 6 = 7,2 \text{ мм.}$$

Толщина большой полки:

$$H_G = \lambda h_G = 1,20 \cdot 5 = 6 \text{ мм.}$$

Средняя толщина раската:

$$H_c = \lambda h_c = 1,20 \cdot 9,7 = 11,6 \text{ мм.}$$

17. Обжатие за пропуск (2.11) —

по ножке:

$$\Delta h_H = H_H - h_H = 12 - 10 = 2 \text{ мм;}$$

по малой полке:

$$\Delta h_M = H_M - h_M = 7,2 - 6 = 1,2 \text{ мм;}$$

по большой полке:

$$\Delta h_G = H_G - h_G = 6 - 5 = 1 \text{ мм.}$$

Среднее обжатие по зетовому профилю:

$$\Delta h_c = H_c - h_c = 11,6 - 9,7 = 1,9 \text{ мм.}$$

18. Средний катающий радиус валков по калибру (1.26):

$$R_c = 0,5 (D - h_c) = 0,5 (400 - 9,7) \approx 195 \text{ мм.}$$

19. Угол захвата по среднему обжатию (2.13):

$$\alpha_c = \sqrt{\frac{\Delta h_c}{R_c}} = \sqrt{\frac{1,9}{195}} = 0,099 \text{ рад.}$$

20. При температуре конца прокатки $t_1 \approx 850^\circ$ коэффициент трения металла о чугунные валки (1.39):

$$f = 0,8 (1,05 - 0,0005t) = 0,8 (1,05 - 0,0005 \cdot 850) = 0,50.$$

21. При отношении $\frac{\alpha_c}{f} = \frac{0,099}{0,50} = 0,198$ коэффициент уширения по Бахтинову (см. рис. 16) $C_z = 0,47$ и возможное уширение каждой полки (2.12):

$$Z = C_z \sqrt{\frac{R_c \Delta h_c^3}{H_c^2}} = 0,47 \sqrt{\frac{195 \cdot 1,9^3}{11,6^2}} = 1,5 \text{ мм.}$$

22. Ширина спрямленной малой полки задаваемого в калибр раската (2.14):

$$B_M = b_M - Z = 40,5 - 1,5 = 39 \text{ мм}$$

и ширина большой полки:

$$B_G = b_G - Z = 50,6 - 1,5 = 49,1 \text{ мм.}$$

23. Основные углы второго (предчистового) зетового калибра —
угол ножки (4.35):

$$\gamma = \arcsin \left(\frac{H_H}{l} \right) = \arcsin \left(\frac{12}{44,2} \right) = 15^\circ 50';$$

угол закрытия ножки (4.36):

$$\beta = \delta_H - \gamma = 58^\circ 05' - 15^\circ 50' = 42^\circ 15'.$$

24. Площадь поперечного сечения задаваемого в чистовой калибр раската (5.11):

$$Q = H_M (B_M - 0,5 H_M \operatorname{tg} \alpha) + H_G (B_G - 0,5 H_G \operatorname{tg} \alpha) + \\ + \frac{l_x H_H}{\cos \beta} = 7,2 (39 - 0,5 \cdot 7,2) + 6 (49,1 - 0,5 \cdot 6) + \\ + \frac{23,3 \cdot 12}{\cos 42^\circ 15'} = 909 \text{ мм}^2.$$

25. Коэффициент вытяжки за пропуск (2.16):

$$\mu = \frac{Q}{q} = \frac{909}{816} = 1,115.$$

26. Так как вспомогательная площадь (5.26):

$$\Phi = 0,25 [b_G^2 + h^2 - (b_M - h_H)^2] \sin 2 \alpha_{\max} + \\ + (b_M - h_H) (h \cos^2 \alpha_{\max} - h_M) = \\ = 0,25 [50,6^2 + 43^2 - (40,5 - 10)^2] + (40,5 - 10) (43 \cdot 0,707^2 - 6) = \\ = 1220 \text{ мм}^2,$$

то ордината нейтральной линии чистового неправильного зето-вого калибра (1.82):

$$Z_H = \frac{\Phi + 0,5q}{\text{ш}} = \frac{1220 + 0,5 \cdot 816}{83,8} = 19,5 \text{ мм.}$$

27. Катающий диаметр верхнего валка по внешней вершине угла калибра (5.27):

$$D_{y\phi} = D - 2Z_H = 400 - 2 \cdot 19,5 = 361 \text{ мм.}$$

28. Катающий диаметр нижнего валка по внешней вершине угла калибра (5.28):

$$D_{y\text{м}} = 2(D - l_y) - D_{y\phi} = 2(400 - 37,4) - 361 = 364,2 \text{ мм.}$$

29. Катающий диаметр верхнего валка у края калибра по внешней грани большой полки (5.39):

$$D_{\text{н}\phi} = D_{y\phi} + 2\Gamma_{\text{р}\phi} = 361 + 2 \cdot 42,9 = 446,8 \text{ мм.}$$

30. Катающий диаметр нижнего валка у края калибра по внешней грани малой полки (5.40):

$$D_{\text{н}\text{м}} = D_{y\text{м}} + 2\Gamma_{\text{р}\text{м}} = 364,2 + 2 \cdot 34,3 = 432,8 \text{ мм.}$$

31. Катающий диаметр нижнего валка по внутренней грани большой полки (5.42) при зазоре между валками $z = 4$ мм:

$$D'_{\text{н}\phi} = 2(D - z) - D_{\text{н}\phi} = 2(400 - 4) - 446,8 = 345,2 \text{ мм.}$$

32. Катающий диаметр верхнего валка по внутренней грани малой полки (5.41):

$$D'_{\text{н}\text{м}} = 2(D - z) - D_{\text{н}\text{м}} = 2(400 - 4) - 432,8 = 359,2 \text{ мм.}$$

33. Так как вспомогательный угол калибра по большой полке (5.33):

$$\varphi = \arctg \left[\frac{h_{\phi} + r}{(h_H + r) \sin(\alpha + \beta)} - \text{ctg}(\alpha + \beta) \right] = \\ = \arctg \left[\frac{5 + 3}{(10 + 3) \sin(45^\circ + 45^\circ)} - \text{ctg}(45^\circ + 45^\circ) \right] = 31^\circ 40'$$

и по малой полке (5.34):

$$\varphi' = \arctg \left[\frac{h_{\text{м}} + r}{(h_H + r) \sin(\alpha + \beta)} - \text{ctg}(\alpha + \beta) \right] = \\ = \arctg \left[\frac{6 + 3}{(10 + 3) \sin(45^\circ + 45^\circ)} - \text{ctg}(45^\circ + 45^\circ) \right] = 34^\circ 40';$$

отрезок u по большой полке (5.35):

$$u = \frac{(h_H + r) \cos(\varphi - \beta)}{\cos \varphi} - r = \frac{(10 + 3) \cos(31^\circ 40' - 45^\circ)}{\cos 31^\circ 40'} - 3 = 12,3 \text{ мм}$$

и по малой полке (5.36):

$$u' = \frac{(h_{\text{м}} + r) \cos(\varphi' - \beta)}{\cos \varphi'} - r = \frac{(10 + 3) \cos(34^\circ 40' - 45^\circ)}{\cos 34^\circ 40'} - 3 = 12,8 \text{ мм,}$$

то катающий диаметр верхнего валка по внутренней вершине угла малой полки (5.37):

$$D'_{y\text{м}} = 2(D - u') - D_{y\text{м}} = 2(400 - 12,8) - 364,2 = 410,2 \text{ мм.}$$

Точно также катающий диаметр нижнего валка по внутренней вершине угла калибра большой полки (5.38):

$$D'_{y\phi} = 2(D - u) - D_{y\phi} = 2(400 - 12,3) - 361 = 414,4 \text{ мм.}$$

Второй (предчистовой) калибр и задаваемый в него раскат

Ширина спрямленных полок предчистового калибра:

большой:

$$B_{\phi} = 49,1 \text{ мм,}$$

малой:

$$B_{\text{м}} = 39 \text{ мм.}$$

Толщина большой полки:

$$h_{\phi} = 6 \text{ мм}$$

и малой

$$h_{\text{м}} = 7,2 \text{ мм.}$$

Толщина ножки:

$$h_H = 12 \text{ мм.}$$

Угол закрытия полок:

$$\alpha = 45^\circ \text{ или } \alpha = 0,785 \text{ рад.}$$

Угол ножки $\gamma = 15^\circ 50'$, *угол линии ножки*

$$\delta_H = 58^\circ 05'$$

и угол закрытия ножки

$$\beta = 42^\circ 15'.$$

1. Ширина полок калибра в развернутом состоянии — малой.

$$b_m = B_m - 0,5h_m\alpha = 39 - 0,5 \cdot 7,2 \cdot 0,785 = 36,2 \text{ мм};$$

большой:

$$b_b = B_b - 0,5h_b\alpha = 49,1 - 0,5 \cdot 6 \cdot 0,785 = 46,8 \text{ мм}.$$

2. Горизонтальные проекции полок — малой:

$$b_{mx} = C_{ш}b_m = 0,836 \cdot 36,2 = 30,3 \text{ мм};$$

и большой:

$$b_{bx} = C_{ш}b_b = 0,836 \cdot 46,8 = 39,1 \text{ мм}.$$

3. Вертикальные проекции полок — малой:

$$b_{my} = C_b b_m = 0,487 \cdot 36,2 = 17,6 \text{ мм};$$

большой:

$$b_{by} = C_b b_b = 0,487 \cdot 46,8 = 22,8 \text{ мм}.$$

4. Ширина калибра (5.25):

$$ш = b_{mx} + b_{bx} + l_x = 30,3 + 39,1 + 23,3 = 92,7 \text{ мм}.$$

5. Малые радиусы кривизны — малой полки:

$$R_{mm} = \frac{2b_m}{3z} = \frac{2 \cdot 36,2}{3 \cdot 0,785} = 30,8 \text{ мм}$$

и большой полки:

$$R_{bm} = \frac{2b_b}{3z} = \frac{2 \cdot 46,8}{3 \cdot 0,785} = 39,8 \text{ мм}.$$

6. Большие радиусы кривизны — малой полки:

$$R_{m\bar{b}} = R_{mm} + h_m = 30,8 + 7,2 = 38,0 \text{ мм}$$

и большой полки:

$$R_{b\bar{b}} = R_{bm} + h_b = 39,8 + 6 = 45,8 \text{ мм}.$$

7. Радиус закругления на стыке полок с ножкой:

$$r_2 = \lambda_1 r_1 = 1,20 \cdot 3 = 3,6 \text{ мм}.$$

8. Выпуск матричного ручья

$$i = 0,10.$$

9. Площадь предчистового развернутого зетового калибра (5.14):

$$q = h_m [b_m - 0,5h_m(\operatorname{tg} \alpha - \alpha)] + h_b [b_b - 0,5h_b(\operatorname{tg} \alpha - \alpha)] + \frac{l_x h_{ш}}{\cos \beta} = 7,2 [36,2 - 0,5 \cdot 7,2 (1 - 0,785)] + 6 [46,8 - 0,5 \cdot 6 (1 - 0,785)] + \frac{23,3 \cdot 12}{\cos 42^\circ 15'} = 909 \text{ мм}^2.$$

10. Средняя высота калибра:

$$h_c = \frac{q}{ш} = \frac{900}{92,7} = 9,8 \text{ мм}.$$

11. При коэффициенте обжатия $\lambda = 1,30$ толщина ножки задаваемого в калибр раската

$$H_{ш} = \lambda h_{ш} = 1,30 \cdot 12 = 15,6 \text{ мм}.$$

Толщина полок —

малой:

$$H_m = \lambda h_m = 1,30 \cdot 7,2 = 9,4 \text{ мм}$$

и большой:

$$H_b = \lambda h_b = 1,30 \cdot 6 = 7,8 \text{ мм}.$$

Средняя толщина раската

$$H_c = \lambda h_c = 1,30 \cdot 9,8 = 12,7 \text{ мм}.$$

12. Обжатие за пропуск — по ножке:

$$\Delta h_{ш} = H_{ш} - h_{ш} = 15,6 - 12 = 3,6 \text{ мм};$$

по малой полке:

$$\Delta h_m = H_m - h_m = 9,4 - 7,2 = 2,2 \text{ мм};$$

по большой полке:

$$\Delta h_b = H_b - h_b = 7,8 - 6 = 1,8 \text{ мм}.$$

Среднее обжатие по зетовому профилю:

$$\Delta h_c = H_c - h_c = 12,7 - 9,8 = 2,9 \text{ мм}.$$

13. Средний катающий радиус валков:

$$R_c = 0,5(D - h_c) = 0,5(400 - 9,8) \approx 195 \text{ мм}.$$

14. Угол захвата по среднему обжатию:

$$\alpha_c = \sqrt{\frac{\Delta h_c}{R_c}} = \sqrt{\frac{2,9}{195}} = 0,122 \text{ рад}.$$

15. При температуре прокатываемого металла за пропуск

$$t_2 = t_1 + \Delta t = 850 + 30 = 880^\circ$$

коэффициент трения металла о чугунные валки

$$f = 0,8(1,05 - 0,0005t) = 0,8(1,05 - 0,0005 \cdot 880) = 0,488.$$

16. При отношении $\frac{\alpha_c}{f} = \frac{0,122}{0,488} = 0,25$ коэффициент $C_z = 0,46$ и возможное уширение каждой полки (2.12):

$$Z = C_z \sqrt{\frac{R_c \Delta h_c^3}{H_c^2}} = 0,46 \sqrt{\frac{195 \cdot 2,9^3}{12,7^2}} = 2,5 \text{ мм.}$$

17. Приращение горизонтальной проекции малой и большой полки (2.34):

$$\Delta b_x = 0,5H_i = 0,5 \cdot 9,4 \cdot 0,10 \approx 0,5 \text{ мм.}$$

18. Горизонтальная проекция малой полки раската, задаваемого в калибр (2.36):

$$B_{Mx} = b_{Mx} - \Delta b_x = 30,3 - 0,5 = 29,8 \text{ мм}$$

и большой полки:

$$B_{Ox} = b_{Ox} - \Delta b_x = 39,1 - 0,5 = 38,6 \text{ мм.}$$

19. Ширина малой полки зетового раската до пропуска (2.37):

$$B_M = \frac{B_{Mx}}{C_{ш}} = \frac{29,8}{0,870} = 34,3 \text{ мм}$$

и ширина большой полки (2.37):

$$B_O = \frac{B_{Ox}}{C_{ш}} = \frac{38,6}{0,870} = 44,3 \text{ мм.}$$

20. Приращение ширины малой полки за пропуск, допускаемое размерами калибра (2.38):

$$\Delta b_M = b_M - B_M = 36,2 - 34,3 = 1,9 \text{ мм}$$

и приращение ширины большой полки (2.38):

$$\Delta b_O = b_O - B_O = 46,8 - 44,3 = 2,5 \text{ мм.}$$

Как видно по малой и большой полке отношение $\frac{\Delta b}{z} < 1$ и калибр должен нормально заполняться металлом.

21. Основные углы по третьему зетовому калибру — угол ножки (4.37):

$$\gamma = \arcsin \left(\frac{H_n}{l} \right) = \arcsin \left(\frac{15,6}{44,2} \right) = 20^\circ 40';$$

угол закрытия ножки (4.38):

$$\beta = \lambda_{ш} - \gamma = 58^\circ 05' - 20^\circ 40' = 37^\circ 25'.$$

22. Площадь поперечного сечения зетового раската до пропуска (5.16):

$$\begin{aligned} Q &= H_M [B_M - 0,5H_M (\operatorname{tg} \alpha - \alpha)] + H_O [B_O - 0,5H_O (\operatorname{tg} \alpha - \alpha)] + \\ &+ \frac{l_x H_{ш}}{\cos^3 \beta} = 9,4 [34,3 - 0,5 \cdot 9,4 (0,839 - 0,693)] + \\ &+ 7,8 [44,3 - 0,5 \cdot 7,8 \cdot (0,839 - 0,693)] + \\ &+ \frac{23,3 \cdot 15,6}{\cos^3 37^\circ 25'} = 1115 \text{ мм}^2. \end{aligned}$$

23. Коэффициент вытяжки за пропуск (2.16):

$$\mu = \frac{1115}{909} = 1,226.$$

24. Для определения нейтральной линии калибра установим вспомогательную площадь (5.23):

$$\begin{aligned} \Phi &= 0,5l_x^2 \operatorname{tg} \beta + l_y b_{Mx} - h_M [b_M - 0,5h_M (\operatorname{tg} \alpha - \alpha)] + \\ &+ C_n (b_O^2 - b_M^2) = 0,5 \cdot 23,3^2 \cdot \operatorname{tg} 42^\circ 15' + \\ &+ 37,4 \cdot 30,3 - 7,2 [36,2 - 0,5 \cdot 7,2 (1 - 0,785)] + \\ &+ 0,272 (46,8^2 - 36,2^2) = 1364 \text{ мм}^2. \end{aligned}$$

Тогда ордината нейтральной линии калибра от верхней базы (1.82):

$$Z_n = \frac{\Phi + 0,5q}{ш} = \frac{1364 + 0,5 \cdot 909}{92,7} = 19,6 \text{ мм.}$$

25. Вспомогательные углы калибра — по большой полке (5.33):

$$\begin{aligned} \varphi &= \arcsin \left[\frac{h_O + r}{(h_n + r) \sin(\alpha + \beta)} - \operatorname{ctg}(\alpha + \beta) \right] = \\ &= \arcsin \left[\frac{6 + 3,6}{(12 + 3,6) \sin(45^\circ + 42^\circ 15')} - \operatorname{ctg}(45^\circ + 42^\circ 15') \right] = 29^\circ 35' \end{aligned}$$

Третий калибр и задаваемое в него сечение

Ширина большой и малой полки:

$$b_6 = 44,3 \text{ мм}$$

и

$$b_m = 34,3 \text{ мм.}$$

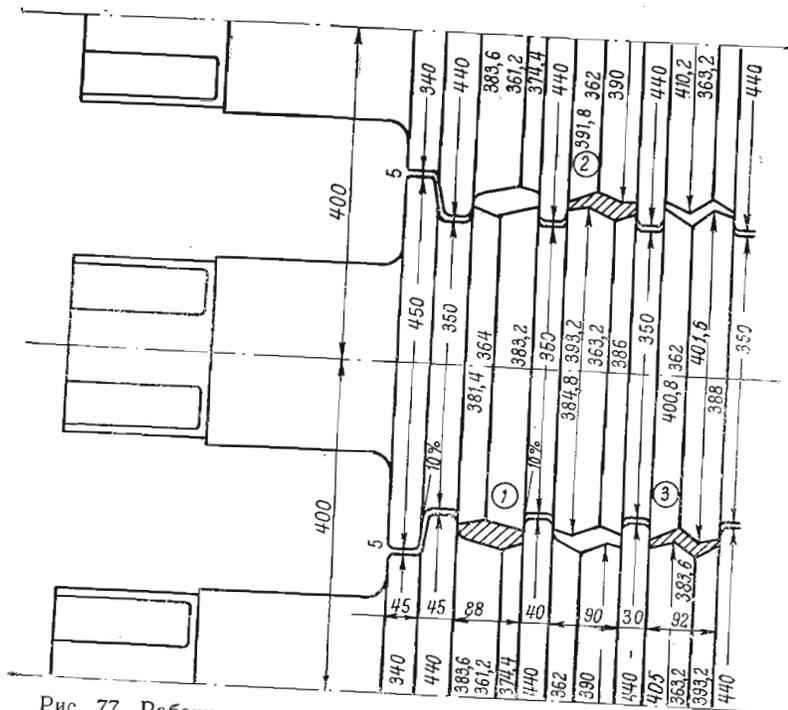


Рис. 77. Рабочие валки трехвалкового стана для прокатки зетового профиля для сельхозмашиностроения (принцип монтажа калибров и конструирования ручьев, буртов и замков)

Толщина большой и малой полки:

$$h_6 = 7,8 \text{ мм}$$

и

$$h_m = 9,4 \text{ мм.}$$

Толщина ножки

$$h_n = 15,6 \text{ мм.}$$

Площадь калибра

$$q = 1115 \text{ мм}^2.$$

Угол закрытия полок

$$\alpha = 40^\circ \text{ или } \alpha = 0,693 \text{ рад.}$$

Угол линии ножки

$$\delta_n = 58^\circ 05'.$$

Угол ножки

$$\gamma = 20^\circ 40'.$$

Угол закрытия ножек

$$\beta = 37^\circ 25'.$$

Так как расчет всех последующих развернутых неправильных зетовых калибров выполняется таким же образом, как и расчет предчистового калибра, то, не повторяя вычислений, готовые результаты по этим калибрам (см. рис. 76 и 77) приводим в табл. 20.

52. Определение размеров заготовки

Высота прямоугольной заготовки, задаваемой в первый по ходу прокатки (или пятый по ходу расчета) зетовый калибр, составит:

$$H_0 = \lambda h_c = 1,8 \cdot 23,8 = 43 \text{ мм},$$

а ширина заготовки (5.16):

$$B_0 = b_{mx} + b_{0x} + l_x - Z = 28 + 36,8 + 23,3 - 10,7 \approx 78 \text{ мм.}$$

Площадь поперечного сечения заготовки:

$$Q_0 = H_0 B_0 = 43 \cdot 78 = 3350 \text{ мм}^2.$$

53. Проверка условий захвата металла валками

Так как захват заготовки в данном случае осуществляется валками первоначально по краю калибра со стороны большей полки и катающие диаметры в точках захвата по верхнему и нижнему валку $D_{н6} = 381,4 \text{ мм}$ и $D'_{н6} = 383,6 \text{ мм}$, то угол захвата (5.49):

$$\alpha_3 = 2 \arcsin \sqrt{\frac{H_0 - h_6}{D_{н6} + D'_{н6}}} = 2 \arcsin \sqrt{\frac{43 - 17,5}{381,4 + 383,6}} = 21^\circ 15'.$$

Такой угол захвата допустим даже без насечки валков по захватывающим участкам калибра.

54. Проверка прочности валков

Контактная поверхность металла с валком в первом зетовом калибре при задаче заготовки (1.22):

$$F = \pi \sqrt{R_c \Delta h_c} = 88,1 \sqrt{188 \cdot 19,2} = 5290 \text{ мм}^2.$$

Удельное сопротивление стали (Ст. 2) статическому сжатию (1.40):

$$k = (14 - 0,01l)(1,4 + C + Mп + 0,3 Cr) = (14 - 0,01 \cdot 970)(1,4 + 0,09 + 0,60) = 9 \text{ кг/мм}^2.$$

При коэффициенте (1.27)

$$\delta = f \sqrt{\frac{4R_c}{\Delta h_c}} = 0,565 \sqrt{\frac{4 \cdot 188}{19,2}} = 3,53$$

и относительном обжатии (1.28):

$$\epsilon_{II} = \frac{\Delta h_c}{H_c} = \frac{19,2}{43} = 0,447$$

устанавливаем коэффициент напряженного состояния по Целикову (см. рис. 5).

$$\left| \frac{p}{k} \right| = 1,74$$

и определяем среднее удельное давление (1.29):

$$p = k \left| \frac{p}{k} \right| = 9 \cdot 1,74 = 15,7 \text{ кг/мм}^2.$$

Полное давление металла на валок (1.21):

$$P = pF = 15,7 \cdot 5290 = 83200 \text{ кг}.$$

Имея в виду, что первый по ходу прокатки зетовый калибр может быть расположен на валках после прямоугольного калибра шириной ~ 100 мм и учитывая при этом ширину двух буртов (рис. 77), установим положение этого зетового калибра от ближайшей точки опоры на расстоянии ~ 40 см. Тогда изгибающий момент на бочке валка (1.19):

$$M_0 = P \left(\frac{\Gamma D}{\Gamma + D} - \frac{\pi}{8} \right) = 83200 \left(\frac{105 \cdot 40}{145} - \frac{8,81}{8} \right) = 2310000 \text{ кг} \cdot \text{см}.$$

Изгибающий момент по шейке валка (1.20):

$$M_{III} = \frac{P l_{III} \Gamma}{2(\Gamma + D)} = \frac{83200 \cdot 22 \cdot 105}{2 \cdot 145} = 664000 \text{ кг} \cdot \text{см}.$$

С учетом уменьшения диаметра валка вследствие переточек на 10%, напряжения изгиба по бочке валка составят:

$$\sigma_0 = \frac{M_0}{0,1 \cdot 0,9^3 D_y^3} = \frac{2310000}{0,1 \cdot 0,9^3 \cdot 36,4^3} = 658 \text{ кг/см}^2.$$

Напряжения изгиба в шейках валков (1.42):

$$\sigma_{III} = \frac{M_{III}}{0,1 d^3} = \frac{664000}{0,1 \cdot 22^3} = 624 \text{ кг/см}^2.$$

При крутящем моменте прокатки (1.11):

$$M = p \pi \Delta h_c R_c \left(1 + \frac{l_{III} d'}{\sqrt{R_c \Delta h_c}} \right) = 15,7 \cdot 88,1 \cdot 19,2 \cdot 18,8 \left(1 + \frac{0,1 \cdot 22}{188 \cdot 19,2} \right) = 683000 \text{ кг/см};$$

напряжения скручивания в шейках:

$$\tau_{III} = \frac{M}{0,4 d^3} = \frac{683000}{0,4 \cdot 22^3} = 160 \text{ кг/см}^2.$$

Расчетное нормальное напряжение в шейках (1.44):

$$\sigma_p = \sqrt{\sigma_{III}^2 + 3\tau_{III}^2} = \sqrt{624^2 + 3 \cdot 160^2} = 633 \text{ кг/см}^2.$$

Как видно, напряжения изгиба по бочке валков и расчетные нормальные напряжения в шейках не превышают напряжений, допускаемых для стальных валков.

Ради иллюстрации применимости изложенной методики калибровки и для других размеров неправильных зетов выполнена калибровка неправильного зета 60 × 25 × 25 × 6 для судостроения (табл. 21 и рис. 78), неправильного зетового профиля 90 × 75 × 80 для судостроения (табл. 22 и рис. 79) и неправильного зета 101,6 × 31,7 × 12,7 × 6,4 для сельскохозяйственного машиностроения (табл. 23 и рис. 80)

Таблица 21

Расчетные показатели калибровки неправильного зета для судостроения

№ калибра	α°	λ	Нюпка и полка h мм	Большая полка				Малая полка			
				b мм	b _x мм	b _y мм	R _M мм	b мм	b _x мм	b _y мм	R _M мм
1	20	1,2	6,0	58,8	—	—	—	24,5	—	—	—
2	20	1,4	7,2	57,0	55,0	13,0	109	22,7	22,0	5,2	43,4
3	18	1,6	10,0	56,0	54,5	11,6	119	21,6	21,0	4,5	45,8
4	14	—	16,0	53,8	53,0	8,7	147	18,8	18,5	3,0	51,3

Примечание. Размеры профиля: Н' = 25 мм, b' = 60 мм, b'_M = 25 мм, h' = 6 мм, l_x = 3 мм, l_y = 25,6 мм.

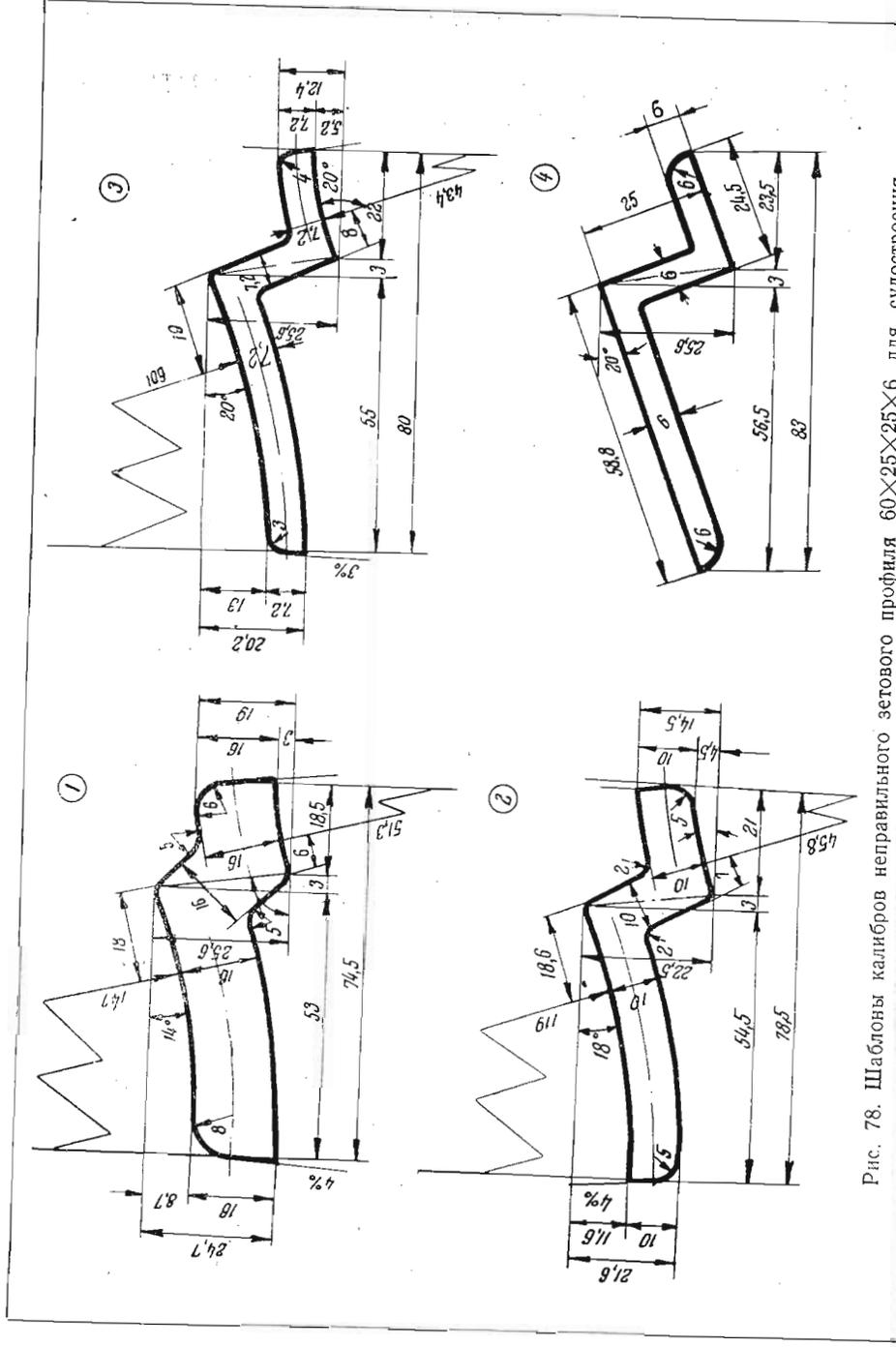


Рис. 78. Шаблоны калибров неправильного зетового профиля $60 \times 25 \times 25 \times 6$ для судостроения

Таблица 22

Расчетные показатели калибровки зетового профиля для судостроения (люковая сталь)

№ калибра	α°	λ	Большая полка				Малая полка				Пожка	
			$h_{\text{К}}$ мм	b_x мм	b мм	b_y мм	R_M мм	h мм	b_x мм	b мм	b_y мм	R_M мм
5	30	1,2	12,0	18,0	89,0	—	106,5	20,0	78,8	—	20,0	20,0
4	30	1,4	14,4	21,6	83,4	28,2	115,0	14,4	73,2	24,8	24,0	24,0
3	27	1,5	20,2	30,2	81,2	24,8	136,0	20,2	67,0	21,7	33,6	33,6
2	22	1,5	30,3	45,3	78,2	18,7	218,0	30,3	65,5	17,2	50,4	50,4
1	13	—	45,5	68,0	74,0	11,1	—	45,5	63,5	9,7	75,0	75,0

Примечание. Размеры профилей: $H' = 75$ мм; $b'_0 = 90$ мм; $b'_M = 80$ мм; $t_x = 20$ мм; $t_y = 75$ мм.

Таблица 23

Расчетные показатели калибровки зетового профиля для сельскохозяйственного машиностроения (рис. 80)

№ калибра	α°	λ	Большая полка				Малая полка				Пожка		Выступ	
			h мм	b_x мм	b мм	$R_{\text{ББ}}$ мм	$R_{\text{МБ}}$ мм	$h_{\text{П}}$ мм	h мм	b мм	q мм ²	ширина по основанию мм	ширина по вершине мм	высота мм
6	10	1,2	6,4	—	63,7	—	50,6	—	195,7	12,7	28,4	15,7	12,7	9,7
5	10	1,4	7,7	62	62,5	240	49,4	188	196,8	12,7	34,0	15,7	12,3	11,8
4	10	1,5	10,8	61	61,5	236	48,5	186	196,8	17,8	34,0	18,4	14,0	14,3
3	10	1,5	16,0	59	59,5	228	46,5	178	194,0	26,7	34,0	21,8	16,0	18,4
2	10	—	24,0	56	56,5	216	43,5	167	191,0	40,0	34,0	26,2	19,0	23,0
1	10	—	28,0	53	53,5	205	40,5	155	183,0	—	34,0	26,2	19,0	23,0

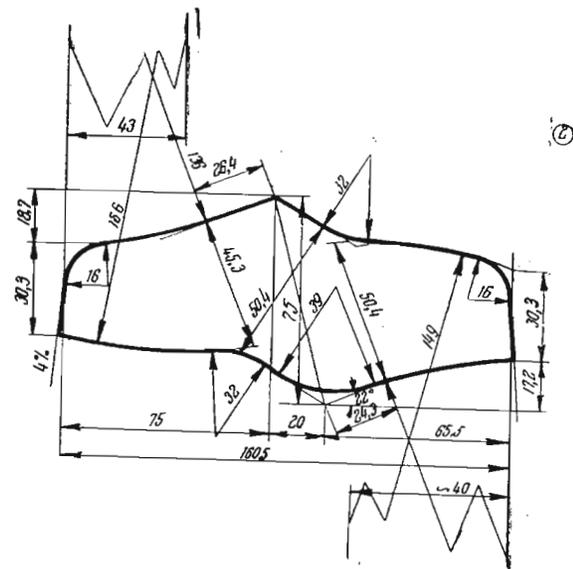
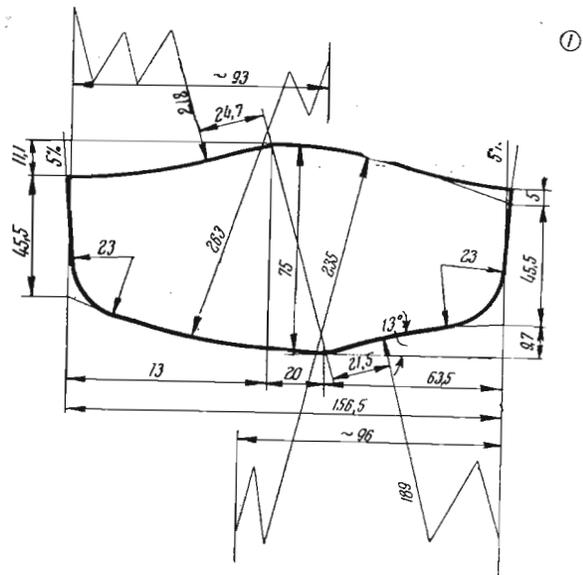
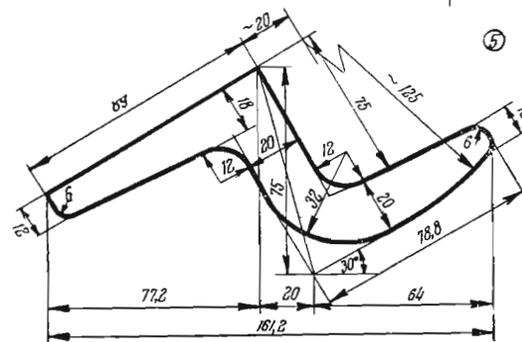
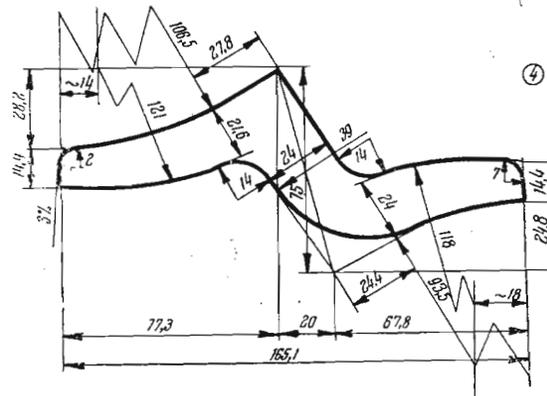
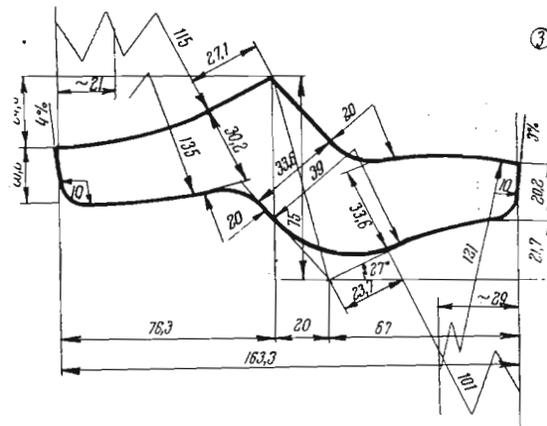


Рис. 79. Шаблоны калибров зетообразного



профиля для судостроения (люковая сталь)

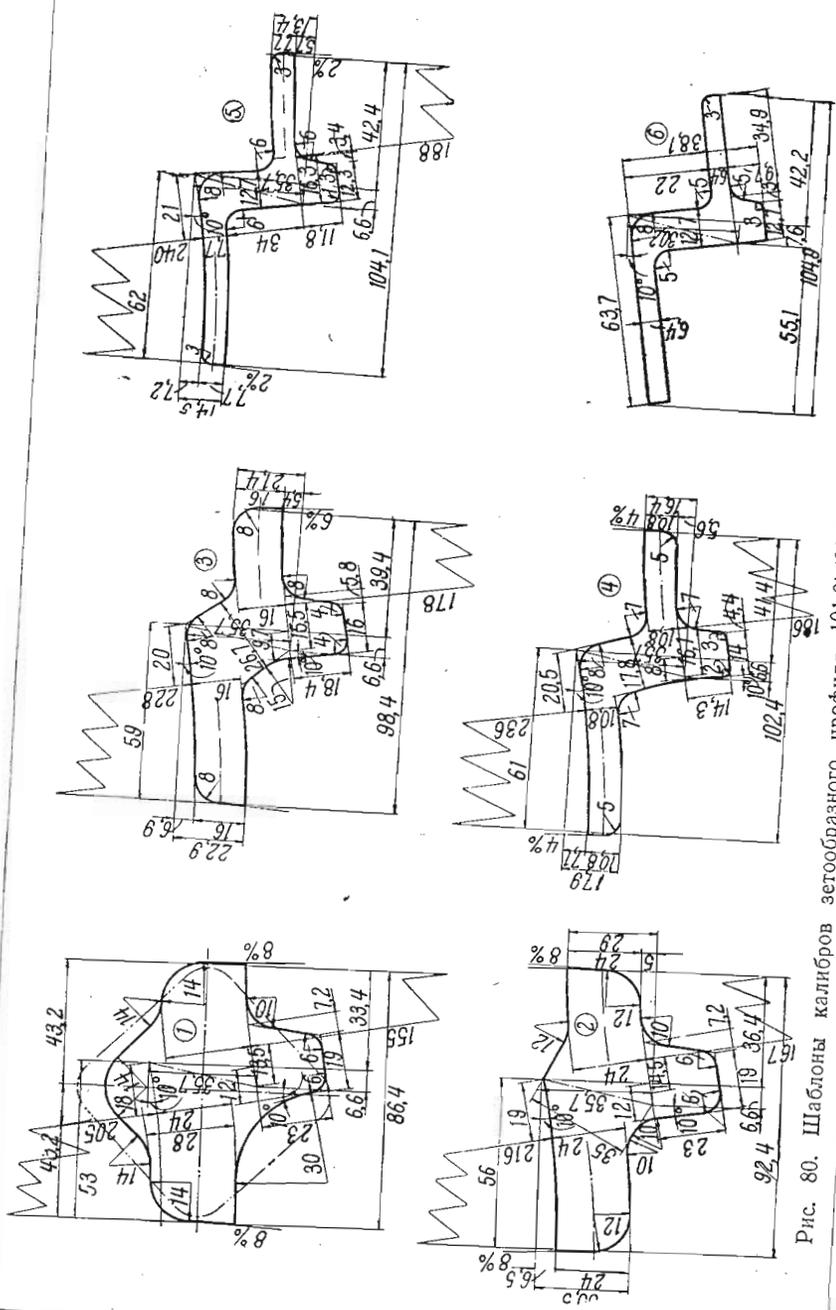


Рис. 80. Шаблоны калибров зетобразного профиля 101,6×31,7×12,7×6,4 для сельхозмашиностроения

ГЛАВА ШЕСТАЯ

РАЗВЕРНУТАЯ КАЛИБРОВКА ШВЕЛЛЕРОВ

1. ОБЩИЕ СООБРАЖЕНИЯ

55. Сущность вопроса

Калибровка валков для прокатки нормальных швеллерных профилей выполняется обычно прямым балочным способом, при котором одна из двух пар полок двутаврового сечения, получаемого в первых разрезных калибрах, постепенно, но энергично обжимается по высоте с таким расчетом, чтобы к концу прокатки эти, так называемые ложные, полки были сведены на нет. Другая пара полок, образующих с ножкой корытный профиль, деформируется в основном по толщине в открытых и полуоткрытых полках калибра боковым обжатием.

При балочном способе калибровки валков для прокатки швеллерных профилей в зависимости от высоты ножки швеллера количество фасонных калибров сохраняется обычно таким же, как и при калибровке соответствующих размеров нормальных балок, в пределах 7—15 калибров. Коэффициенты вытяжки для чистового и предчистового калибров не превышают $1,05 \div 1,10$, а для подготовительных калибров — $1,20 \div 1,30$. Сравнительно слабый режим деформации металла по пропускам обусловливается наличием в двутавровых балочных калибрах расположенных перпендикулярно оси валков открытых и закрытых полок профиля, не позволяющих повышать интенсивность деформации без риска образования складок у основания полок на стыке с ножкой.

Если для получения двутавровых балок с четырьмя попарно расположенными относительно ножки полками боковое обжатие в полках неизбежно, то вовсе нет безусловной необходимости пользоваться калибрами с боковым обжатием по полкам при получении швеллерных профилей. Применение двутавровых калибров при прокатке швеллеров является скорее традиционным, чем технически необходимым, установившимся еще в пору, когда широкая по сортаменту специализация прокатных станов побуждала хотя бы частично использовать одни и те же

подготовительные калибры и при прокатке двутавровых балок, и при прокатке соответствующих размеров швеллеров.

Швеллерный (корытный) профиль сам по себе такой, что его получение путем прокатки возможно в так называемых развернутых калибрах, с прямым или почти прямым давлением, широко применяемых при прокатке равнобоких и неравнобоких угольников, правильных и неправильных зетов, а также всевозможных зетообразных профилей.

Развернутая калибровка швеллеров, благодаря отсутствию бокового обжатия по полкам позволяет:

- 1) интенсифицировать процесс деформации металла по калибрам;
- 2) сократить количество фасонных калибров;
- 3) устранить опасность образования складок у основания полок;
- 4) добиться полной восстановимости размеров калибров в процессе ремонтных переточек валков;
- 5) относительно снизить степень износа калибров за счет уменьшения разности окружных скоростей в различных точках калибра;
- 6) создать более равномерный режим деформации в различных элементах профиля.

Даже такой недостаток, как увеличение ширины развернутых калибров, и в связи с этим, казалось бы, худшее использование бочки валков, и тот для трехвалковых станов отпадает благодаря экономии места на бочке за счет упразднения двойных широких буртов, неизбежных в этом случае при балочной калибровке швеллеров.

Хотя указания на возможность получения швеллерных профилей по развернутой калибровке имеются сравнительно давно, тем не менее до сих пор отсутствует стройная методика расчета калибровочных данных этим способом.

В настоящей главе излагается общая методика развернутой калибровки швеллеров, охватывающая все основные элементы калибровки от выбора коэффициентов обжатия по пропускам, определения размеров и соотношения элементов калибров и их построения до определения нейтральной линии и монтажа калибров в валках.

56. Последовательность форм калибров при развернутой калибровке швеллеров

В более простых случаях прокатки фасонных профилей — угольников и зетов — представляется возможность использовать развернутые калибры до предчистового включительно. Но при прокатке швеллеров развернутые калибры возможно использовать только в качестве подготовительных. Предчистовой

калибр, так же как и чистовой, должен быть с прямыми полками, ибо задача развернутого профиля может быть осуществлена через приемную коробку непосредственно только в прямой полуразвернутый швеллерный калибр (см. рис. 83) или калибр со специальным разъемом (см. рис. 83а) и в качестве такового не может быть использован чистовой калибр.

57. Общее число швеллерных калибров

Как известно из опыта прокатки угольников по развернутой калибровке, образование надлежащим образом выполненных внешних углов профиля при постепенном увеличении угла закрытия полок обеспечивается четырьмя-пятью подготовительными развернутыми калибрами, на основании чего можно утверждать, что и для полной подготовки развернутого швеллерного профиля понадобится столько же подготовительных развернутых калибров. Поэтому швеллерные профили любого ныне катаемого размера, до № 40 включительно, могут быть получены при развернутой калибровке нормально в шести-семи и в редких случаях в восьми фасонных калибрах (вместо 7—15 калибров при прямом балочном способе калибровки), из которых два-три последних по ходу прокатки калибра с прямыми полками, все остальные — подготовительные калибры — развернутые.

Углы закрытия полок и ножки развернутых швеллерных калибров могут быть сохранены рекомендованные нами для развернутых угловых калибров (см. табл. 1).

II. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ РАЗМЕРОВ И ПОСТРОЕНИЕ ШВЕЛЛЕРНЫХ КАЛИБРОВ

58. Основные размеры заданного к получению швеллерного профиля

Обычно по условию заданы основные размеры швеллерного профиля в миллиметрах (рис. 81):

e' — высота (ширина) ножки;

γ_e — допускаемые отклонения в размерах по высоте ножки;

h'_n — толщина ножки;

γ_n — допускаемые отклонения в размерах по толщине ножки;

b' — ширина полок;

γ_b — допускаемые отклонения в размерах по ширине полок;

$tg\varphi'$ — уклон внутренних граней полок;

t'_n — средняя толщина полок;

r'_r — радиус закругления на стыке полок с ножкой;

r'_n — радиус закругления по краям полок изнутри, по которым можно определить толщину по краям полок:

$$h'_n = t'_n - 0,5 (b' - h'_n) tg\varphi', \quad (6.1)$$

а также толщину по основанию полок, принимая за основание внешнюю грань ножки (рис. 81):

$$h' = l'_n + 0,5(b' + h'_n) \operatorname{tg} \varphi'. \quad (6.2)$$

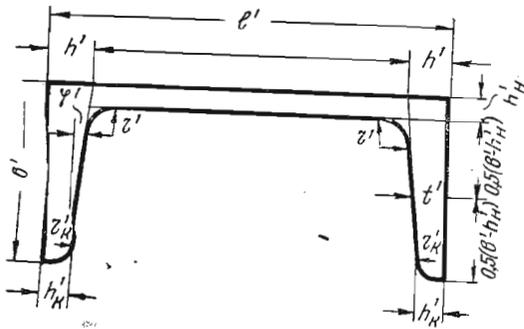


Рис. 81. Швеллер, заданный к получению

59. Чистовой прямой швеллерный калибр и задаваемый в него раскат

Начиная расчет калибровочных данных от заданного к получению швеллера, следует перевести все основные его размеры к нагретому состоянию металла с учетом по соответствующим элементам профиля допусков на минус. При этом можно

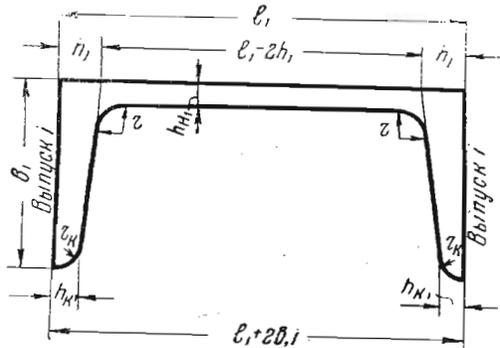


Рис. 82. Чистовой швеллерный калибр

сохранить буквенные обозначения, принятые по холодному профилю, но без штриха (рис. 82), а с индексом порядкового по ходу расчета калибра или без всякого индекса, если символ касается любого калибра.

Итак, толщина ножки чистового калибра:

$$h_{н1} = \lambda_t (h'_n - \nu_n), \quad (6.3)$$

где $\lambda_t = 1,012 \div 1,015$ — коэффициент усадки металла при охлаждении от температуры конца прокатки до нормальной температуры.

Толщина ножки задаваемого в калибр сечения:

$$H_n = \lambda_n h_{н1}, \quad (6.4)$$

где λ_n — коэффициент обжатия по ножке, принимаемый для чистовых калибров в пределах $1,10 \div 1,15$.

Обжатие по ножке:

$$\Delta h_n = H_n - h_{н1}. \quad (6.5)$$

Возможное свободное уширение ножки можно определять по Бахтинову:

$$Z = C_z \sqrt{\frac{R_{сн} \Delta h_n^3}{H_n^2}}. \quad (6.6)$$

Средний катающий радиус валков по ножке может быть определен так:

$$R_{сн} \approx 0,5(D - h_n), \quad (6.7)$$

где D — номинальный диаметр валков стана, или расстояние между осями двух валков, образующих калибр, в мм.

Однако вследствие относительно небольшой пока точности определения свободного уширения даже в простейших случаях прокатки полосы в гладких валках и тем более при прокатке в фасонных калибрах, а также ввиду того, что свободное уширение снижает вытяжку полосы, следует в целях лучшей проработки боковых кромок и увеличения вытяжки полученное по формуле (6.6) уширение ограничивать процентов на 30—50.

Таким образом, ограниченное уширение представится как:

$$\Delta e = k_{oz} Z, \quad (6.8)$$

где $k_{oz} = 0,50 \div 0,70$ — коэффициент ограничения уширения.

После этого можно определить ширину ножки чистового калибра:

$$e_1 = \lambda_t (e' - \nu_e) \quad (6.9)$$

и ширину ножки задаваемого в калибр сечения:

$$E = e_1 - \Delta e. \quad (6.10)$$

Далее представим толщину по основанию полков чистового калибра:

$$h_1 = \lambda_t h' \quad (6.11)$$

и толщину по основанию полков задаваемого в чистовой калибр швеллерного раската:

$$H = \lambda h. \quad (6.12)$$

Точно так же определим толщину по краям полков чистового калибра:

$$h_k = \lambda_t h'_k \quad (6.13)$$

и толщину по краям полков задаваемого в чистовой калибр раската:

$$H_k = \lambda h_k, \quad (6.14)$$

при этом обжатие полков:

по основанию:

$$\Delta h = H - h \quad (6.15)$$

и по краям:

$$\Delta h_k = H_k - h_k. \quad (6.16)$$

Ширина полков чистового калибра:

$$b_1 = \lambda_t (b' - v_b) \quad (6.17)$$

и ширина полков задаваемого в чистовой калибр швеллерного раската:

$$B_1 = b_1 - \Delta b_p, \quad (6.18)$$

где уширение полков в открытом чистовом швеллерном калибре можно определить по Бахтинову:

$$\Delta b_p = \frac{b_1 h_{п.}}{D}. \quad (6.19)$$

Радиус закругления в чистовом калибре по основанию полков на стыке с ножкой:

$$r_1 = \lambda_t r' \quad (6.20)$$

и по краям полков:

$$r_k = \lambda_t r'_k. \quad (6.21)$$

Площадь чистового швеллерного калибра достаточно точно определится так:

$$q = b(h_k + h) + h_n(e - 2h). \quad (6.22)$$

60. Предчистовой полуразвернутый швеллерный калибр и задаваемый в него раскат

Последовательность определения калибровочных данных по предчистовому полуразвернутому швеллерному калибру (рис. 83) сохраняется в основном такой же, как и по чистовому калибру.

Так, толщина ножки предчистового калибра $h_{н2} = H_{н1}$, а толщина ножки задаваемого в калибр раската определится, как и прежде (6.4), при этом коэффициент обжатия по ножке в предчистовом калибре выбирается в пределах.

$$\lambda_n = 1,15 \div 1,20.$$

После этого можно определить для предчистового калибра обжатие по ножке (6.5), свободное уширение (6.6), а также установить ограниченное уширение ножки (6.8).

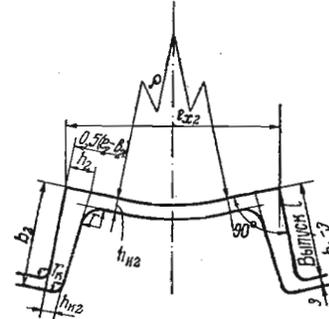


Рис. 83. Предчистовой швеллерный полуразвернутый полуоткрытый калибр

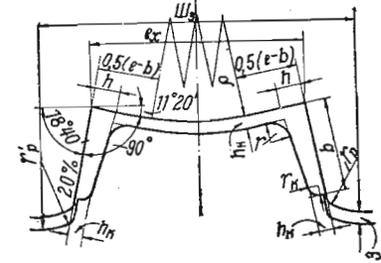


Рис. 83 а. Переходной швеллерный полуразвернутый открытый калибр

Так как ширина ножки предчистового калибра $e_2 = E_1$, то ширина ножки задаваемого в калибр раската E_2 определится спять-таки по формуле (6.10).

Толщина у основания полков предчистового калибра $h_2 = H_1$, а толщина по основанию полков задаваемого в калибр раската определится, как и прежде (6.12). Точно так же представится толщина по краям полков калибра $h_{к2} = H_{к1}$ и толщина по краям полков задаваемого в калибр раската (6.14), при этом коэффициент обжатия по краям и по основанию полков принимается одинаковым и равным коэффициенту обжатия по ножке λ_n предчистового калибра.

Предчистовой полуоткрытый швеллерный калибр, представленный на рис. 83, по своей конструкции не допускает значительных ребровых обжатий по полкам, но зато в нем возможно полное ограничение уширения и, таким образом, легкая проработка полков по кромкам и контроль ширины полков перед задачей в чистовой калибр.

Обжатие по краям и основанию полков в предчистовом швеллерном калибре определяется по формуле (6.15) и (6.16) с подстановкой соответствующих значений толщины полков предчистового профиля.

Площадь предчистового полуразвернутого швеллерного калибра с достаточной степенью точности определится по формуле (6.22) с подстановкой соответствующих этому калибру величин.

61. Первый по ходу расчета развернутый швеллерный калибр

Прежде всего следует установить основные положения построения развернутых швеллерных калибров в зависимости от соотношения ширины полки и ножки.

I. В первом варианте для случаев прокатки швеллеров с относительно узкими полками (рис. 84), когда $e' > 2b'$:

1. Прямой участок как полки ad , так и ножки ae , составляет половину ширины полки по внешней грани:

$$p = 0,5b,$$

2. Изогнутый участок полки по внешней грани образуется, как дуга с постоянным радиусом кривизны с центром на пограничной вертикали fg , ограничивающей ширину калибра.

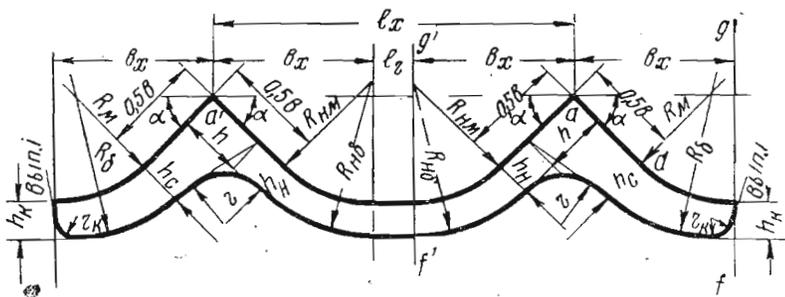


Рис. 84. Развернутый швеллерный калибр с относительно узкими полками

3. Изогнутый участок ножки по внешней грани, примыкающий как к одной, так и к другой полке, образуется как дуга с тем же постоянным радиусом кривизны, что и для полки $R_{NM} = R_M$, с центром на вертикали $f'g'$, отстоящей от внешней вершины угла калибра на таком же расстоянии b_x , как и вертикаль fg для полки.

4. Расстояние между внешними вершинами углов калибра a и a' , равное e_x , сохраняется для всех развернутых калибров постоянным.

II. Для случаев прокатки швеллеров с относительно широкими полками (рис. 85) при $e' < 2b'$:

1. Прямой участок полки ad составляет половину ширины полки по внешней грани — $0,5b$.

2. Изогнутый участок полки по внешней грани образуется, как дуга с постоянным радиусом кривизны R_M , с центром на пограничной вертикали fg , ограничивающей ширину калибра.

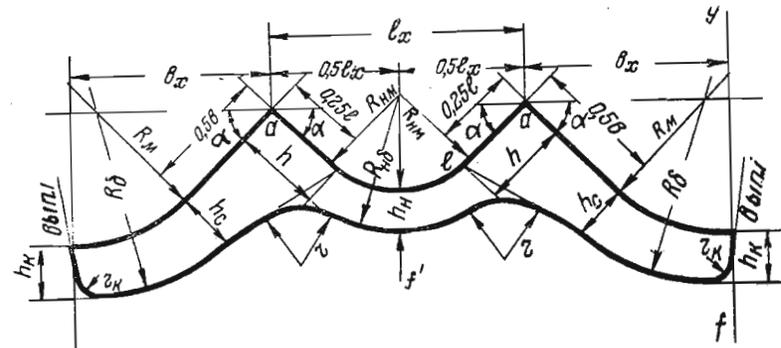


Рис. 85. Развернутый швеллерный калибр с относительно широкими полками

3. Прямой участок ножки ae составляет $1/4$ ширины ножки по внешней грани.

4. Изогнутый участок ножки образуется, как дуга с постоянным радиусом кривизны R_{NM} с центром на вертикали $f'g'$, делящей ножку пополам.

5. Расстояние между внешними вершинами углов калибра a и a' , равное e_x , сохраняется для всех развернутых калибров постоянным.

Установив принципы построения развернутых швеллерных калибров, перейдем к расчету первого развернутого (третьего по ходу расчета) калибра (рис. 86).

Толщина ножки первого развернутого калибра:

$$h_{н3} = H_{н2}.$$

Ширина ножки калибра в развернутом состоянии:

$$e_3 = E_2 - \alpha h_{н3}, \quad (6.24)$$

где $\alpha = 0,785$ — угол закрытия полки и ножки в радианах первого по ходу расчета развернутого калибра, соответствующий 45° .

Толщина полки калибра по основанию: $h_3 = H_2$ и по краям: $h_{с3} = H_{с2}$, при этом средняя толщина полки калибра:

$$h_{ср} = 0,5(h_{н3} + h) \quad (6.25)$$

и средняя толщина развернутого участка полки:

$$h_p = 0,25 (3h_{к3} + h_3) \quad (6.26)$$

Ширина полок калибра по внешней грани в развернутом состоянии:

$$b_3 = B_2 - 0,5 \alpha h_p \quad (6.27)$$

Горизонтальный участок ножки (в варианте $e' > 2b'$):

$$e_{г3} = e_3 - 2b_3 \quad (6.23)$$

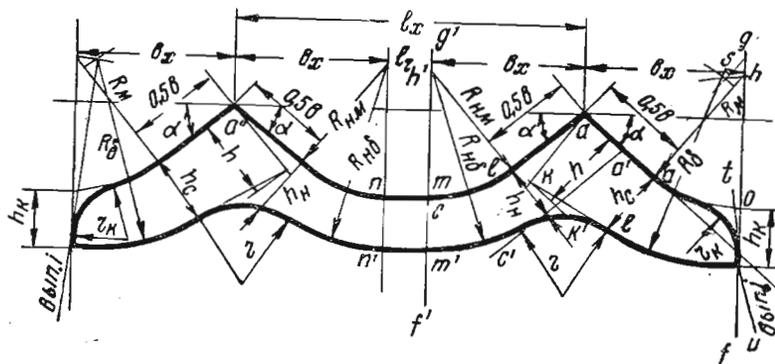


Рис. 86. Построение развернутого швеллерного калибра

Горизонтальная проекция полки представится так (рис. 84 и 85):

$$b_{x3} = 0,5 b \cos \alpha + R_M \sin \alpha.$$

Подставляя значение $R_M = \frac{0,5b}{\alpha}$, получим:

$$b_{x3} = 0,5 b \left(\cos \alpha + \frac{\sin \alpha}{\alpha} \right), \quad (6.29)$$

и, обозначая через

$$C_{ш} = 0,5 \left(\cos \alpha + \frac{\sin \alpha}{\alpha} \right), \quad (6.30)$$

можем написать:

$$b_{x3} = C_{ш} b_3 \quad (6.31)$$

Значение $C_{ш}$ в зависимости от угла закрытия по калибрам, дано в табл. 1.

Горизонтальная проекция ножки сохраняется во всех развернутых калибрах неизменной и определяется в варианте $e' > 2b'$:

$$e_{x3} = e_{г3} + 2b_{x3} \quad (6.32)$$

и в варианте $e' < 2b'$:

$$e_{x3} = 0,5 C_{ш} e_3 \quad (6.33)$$

Площадь развернутого швеллерного калибра достаточно точно представится так:

$$q \approx b(h_{кн} + h) + eh_{н} \quad (6.34)$$

62. Развернутые подготовительные швеллерные калибры

Так как толщина полок нормальных швеллеров неравномерна — полки по краям тоньше, чем по основанию, то естественно, что при получении развернутого профиля, подготовленного из прямоугольной заготовки для предчистового калибра, неизбежна неравномерная деформация по полкам, которой важно придать рациональный характер.

Напомним, что в чистовом и предчистовом прямых калибрах коэффициенты обжатия сохраняются одинаковыми по всем элементам данного калибра, тогда как в развернутых калибрах коэффициенты обжатия можно сохранить одинаковыми только по ножке и краям полок, а по основанию полок определить их как:

$$\lambda = \lambda_{к} \sqrt[n-3]{\frac{h_{к3}}{h_3}}, \quad (6.35)$$

где λ — коэффициент обжатия по основанию полок развернутых швеллерных калибров;

$\lambda_{к}$ — коэффициент обжатия по краям полок (и по ножке), принимаемый в зависимости от прочности валков и мощности двигателя прокатного стана, в пределах $1,60 \div 1,80$;

n — общее количество фасонных калибров при прокатке швеллера, включая чистовой и предчистовой;

$h_{к3}$ и h_3 — толщина по краям и по основанию полок первого по ходу расчета развернутого швеллерного калибра.

Последний по ходу расчета (первый по ходу прокатки) развернутый швеллерный калибр является калибром сравнительно грубой формы, в котором только вчерне образуется ножка и

полки, благодаря чему в нем полки могут быть одинаковой толщины как по краям, так и по основанию.

Таким образом, имеются все необходимые данные для расчета толщины по ножке, основанию и по краям полок всех развернутых калибров (6.4) и (6.14).

Для облегчения задачи полосы в развернутый швеллерный калибр, задаваемый профиль должен быть по ширине (по горизонтальной проекции) меньше ширины калибра, иначе говоря, каждый последующий по ходу расчета развернутый калибр должен быть уже предыдущего.

Если уменьшать ширину каждого последующего по ходу расчета развернутого калибра только за счет горизонтальной проекции полок (при $e_x = \text{const}$), то это уменьшение Δb_x для каждой полки должно быть не меньше $0,5 H_k i$, где H_k — толщина по краям полок задаваемого в калибр сечения, а i — выпуск калибра, не превышающий обычно $0,08 \div 0,10$.

Рассчитывая на худший случай, то есть на $i = 0,10$, можем написать, что:

$$\Delta b_x \leq 0,05 H_k. \quad (6.36)$$

Таким образом, в каждом последующем развернутом калибре горизонтальная проекция полок может быть определена по горизонтальной проекции предыдущего по ходу расчета развернутого калибра b_x , начиная от первого развернутого, и величине Δb_x :

$$B_x = b_x - \Delta b_x, \quad (6.37)$$

где B_x — горизонтальная проекция полки задаваемого в калибр сечения или горизонтальная проекция полки последующего по ходу расчета развернутого калибра.

При наличии b_x для каждого развернутого калибра из уравнения (6.31) можно определить ширину полок калибра по внешней грани:

$$b = \frac{b_x}{C_{ш}}. \quad (6.38)$$

Горизонтальный участок ножки (в варианте $e' > 2b'$):

$$e_r = e_{x3} - 2b_x. \quad (6.39)$$

Ширина ножки развернутого калибра в варианте $e' > 2b'$:

$$e = e_r + 2b \quad (6.40)$$

и в варианте $e' < 2b'$:

$$e = \frac{e_{x3}}{2C_{ш}}. \quad (6.41)$$

Площадь развернутых швеллерных калибров, как и прежде, определится по формуле (6.34).

Отношением площадей смежных развернутых калибров устанавливается средний коэффициент вытяжки по пропускам при нормальном заполнении калибров металлом:

$$\mu_c = \frac{Q}{q}, \quad (6.42)$$

где Q и q — площадь предыдущего и последующего по ходу прокатки калибров, а для первого по ходу прокатки фасонного калибра $Q = Q_0$ — площадь поперечного сечения задаваемой в него прямоугольной заготовки.

Малый радиус кривизны по внешней грани изогнутого участка полок:

$$R_m = \frac{0,5b}{\alpha}. \quad (6.43)$$

В варианте $e' > 2b'$ этим же радиусом, $R_m = R_{нм}$, очерчиваются по внешней грани изогнутые участки ножки.

В варианте $e' < 2b'$ малый радиус изогнутого участка ножки определится особо как:

$$R_{нм} = \frac{0,25e}{\alpha}. \quad (6.44)$$

Для полного оформления развернутого швеллерного калибра потребуется еще знать:

большой радиус кривизны $R_{нб}$ изогнутого участка ножки:

$$R_{нб} = R_{нм} + h_{н}, \quad (6.45)$$

центр которого s совпадает с центром дуги малого радиуса $R_{нм}$;

большой радиус кривизны $R_б$ изогнутого участка полки по внутренней грани:

$$R_б \approx R_m + h_k, \quad (6.46)$$

центр которого s находится на горизонтали, проходящей через центр дуги малого радиуса (см. рис. 84 и 85);

среднюю толщину полок каждого развернутого калибра:

$$h_{cp} = 0,5(h_k + h); \quad (6.47)$$

радиус закругления на стыке полок с ножкой, определяемый по нормам:

$$r \approx h_{cp}. \quad (6.48)$$

Наконец, радиус закругления на дне матричных ручьев по краям полок калибра можно выбирать по нормам:

$$r_k \approx (0,5 \div 0,8) h_k. \quad (6.49)$$

63. Размеры заготовки

Высоту прямоугольной заготовки H_0 , задаваемой плашмя в первый по ходу прокатки развернутый швеллерный калибр, можно определять через среднюю толщину раската и коэффициент обжатия:

$$H_0 = \lambda h_c. \quad (6.50)$$

Ширина прямоугольной заготовки B_0 определится так:

$$B_0 = 2b_x + e_x - Z, \quad (6.51)$$

где b_x — горизонтальная проекция полки в последнем по ходу расчета развернутом швеллерном калибре, а Z — свободное уширение полок в нем.

Площадь поперечного сечения заготовки:

$$Q_0 = H_0 B_0. \quad (6.52)$$

64. Заполнение развернутых швеллерных калибров металлом

В целях проверки заполнения развернутых швеллерных калибров металлом, необходимо определить уширение (2.12) и сопоставить это уширение с приращением ширины полок в каждом калибре, допускаемом размерами калибра:

$$\Delta b = b - B, \quad (6.53)$$

при этом должно быть $\Delta b > 0,5 Z$.

В калибрах, где $\Delta b > 0,5 Z$, следует уменьшить Δb_x и пересчитать соответствующие калибровочные данные по этому калибру заново.

65. Построение швеллерных калибров

Построение чистового открытого по полкам прямого швеллерного калибра (рис. 82) не составляет каких-либо затруднений. Следует только предусмотреть выпуск, вследствие чего ширина калибра по разьему будет $e_1 + 2b_1 i$.

Построение развернутых швеллерных калибров выполняется в соответствии с установленными ранее принципами по I или II варианту в зависимости от соотношения ширины полок и ножки.

Рассмотрим последовательно построение развернутого швеллерного калибра.

В I варианте (см. рис. 86) при $e' > 2b'$ по горизонтали откладывается отрезок aa' , равный горизонтальной проекции ножки e_x .

Из точки a проводятся (по тангенсу или транспортиру) под углом α к горизонтали линии ab и ac , по которым откла-

дываются отрезки ad и ac , равные по $0,5b$. Затем на расстоянии b_x справа и слева от точки a проводятся вертикали fg и $f'g'$, на которых из точек d и e , как из центров, радиусом R_m засекаются точки h и h' , являющиеся центрами дуг, очерчивающих изогнутые участки полки и ножки. Линия dh делит ширину полки пополам, поэтому по этой линии из точки d откладывается средняя толщина полки h_c ; из точки e по линии $h'e$ откладывается толщина ножки h_n .

Через точку k' проводится отрезок $a'c'$, параллельный линии ac , а из точки a восстанавливается перпендикуляр к линии ab , на котором откладывается толщина по основанию полки h . Точки k и l соединяются прямой; прямыми линиями соединяются также концы дуг изогнутых участков ножки mn и $m'n'$.

Из точки o вниз по линии fg откладывается отрезок op , равный толщине по краю полки h_n , и из точек l и p радиусом R_o засекаются две взаимно пересекающиеся дуги, точка пересечения которых s служит центром дуги, очерчивающей внутреннюю кромку изогнутого участка полки. Центр дуги, очерчивающей внутреннюю кромку ножки, совпадает с центром дуги, очерчивающей ножку по внешней грани. Через середину толщины края полки проводится с уклоном i по отношению вертикали fg линия tu , намечающая выпуск калибра.

На стыке полки с ножкой выполняются закругления радиусом, определяемым по норме (6.48). Закругление по краям полок на дне ручья выполняется радиусом r_n по нормам (6.49), при этом во избежание образования заусениц по краям полок разъем калибров следует по возможности чередовать то сверху, то снизу.

Во II варианте (рис. 85) при $e' < 2b'$ порядок построения развернутых швеллерных калибров сохраняется такой же, как и в I варианте, с той лишь разницей, что прямой участок ножки составляет $0,25e$ и центры дуг, очерчивающих изогнутые участки ножки, находятся на вертикали $f'g'$, делящей ширину ножки пополам.

Развернутое швеллерное сечение шириной $e_x + 2h_x$ возможно задать в предчистойой более узкий полуразвернутый полуоткрытый (см. рис. 83) или переходной открытый швеллерный калибр (см. рис. 83, а) через приемную коробку (рис. 87).

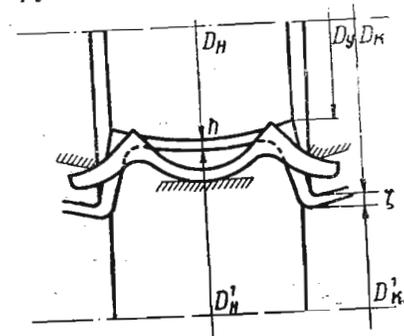


Рис. 87. Задача развернутого швеллерного раската в полуразвернутой предчистойой (или переходной) калибр

Выпуск полок предчистового или переходного полуразвернутого швеллерного калибра (см. рис. 83 и 83а) можно принимать

$$i = 0,20,$$

при этом имеем угол закрытия ножики $\alpha_n = 11^\circ 20'$ или $\alpha_n = 0,1977$ рад.

Образуя ножку калибра из изогнутого среднего участка протяженностью, равной ширине полки и двух крайних прямых участков шириной по

$$п = 0,5(e - b), \quad (6.54)$$

представим радиус кривизны ножики:

$$\rho = \frac{0,5b}{\alpha_n} \quad (6.55)$$

или

$$\rho = 2,53b \quad (6.56)$$

и горизонтальную проекцию ножики:

$$e_x = 2(п \cos \alpha_n + \rho \sin \alpha_n). \quad (6.57)$$

Подставляя значение $п$ и ρ , получим:

$$e_x = 0,98e + 0,0135b, \quad (6.58)$$

III. МОНТАЖ ШВЕЛЛЕРНЫХ КАЛИБРОВ В ВАЛКАХ

66. Нейтральная линия швеллерных калибров

Для определения нейтральной линии швеллерных калибров воспользуемся принципом, изложенным нами ранее применительно к фасонным калибрам любой конфигурации, и полученной при этом общей формулой:

$$Z_H = \frac{\Phi + 0,5q}{ш} \quad (1.82)$$

Применительно к развернутому швеллерному калибру в варианте $e' > 2b'$ (рис. 88) площадь Φ представится так:

$$\Phi = 4 \left[0,5(b_x + R_M \sin \alpha) h' + 0,5 R_M^2 \left(\alpha - \frac{\sin 2\alpha}{2} \right) \right] + e_r b_y. \quad (6.59)$$

$$\text{Но } h' = 0,5 b \sin \alpha$$

и, как было установлено ранее (6.29) и (6.43):

$$b_x = 0,5b \left(\cos \alpha + \frac{\sin \alpha}{\alpha} \right),$$

$$R_M = \frac{0,5b}{\alpha};$$

наконец, вертикальная проекция внешней грани полки:

$$b_y = 0,5b \sin \alpha + R_M(1 - \cos \alpha)$$

или

$$b_y = 0,5b \left(\sin \alpha + \frac{2 \sin^2 \frac{\alpha}{2}}{\alpha} \right), \quad (6.60)$$

где, обозначая постоянную развернутого швеллерного калибра (коэффициент высоты) через

$$C_B = 0,5 \left(\sin \alpha + \frac{2 \sin^2 \frac{\alpha}{2}}{\alpha} \right), \quad (6.61)$$

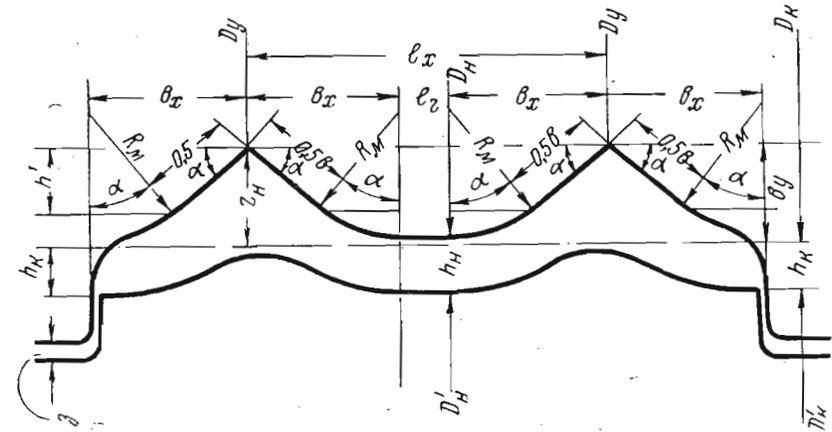


Рис. 88. Нейтральная линия и катающие диаметры валков по ручьям развернутого швеллерного калибра

можем написать:

$$b_y = C_B b. \quad (6.62)$$

Подставляя значение b_x , R_M , h' и b_y в равенство (6.59), после преобразования будем иметь:

$$\Phi = 0,5b^2 \left[\left(\cos \alpha + \frac{2 \sin \alpha}{\alpha} \right) \sin \alpha + \frac{1}{\alpha^2} \left(\alpha - \frac{\sin 2\alpha}{2} \right) \right] + 0,5be_r \left(\sin \alpha + \frac{2 \sin^2 \frac{\alpha}{2}}{\alpha} \right) \quad (6.63)$$

и, обозначая постоянную калибра (коэффициент нейтральной линии) через

$$C_H = 0,25 \left[\left(\cos \alpha + \frac{2 \sin \alpha}{\alpha} \right) \sin \alpha + \frac{1}{\alpha^2} \left(\alpha - \frac{\sin 2\alpha}{2} \right) \right], \quad (6.64)$$

получим:

$$\Phi = 2b(C_H b + C_B e_r). \quad (6.65)$$

Площадь развернутого швеллерного калибра q достаточно точно определяется по формуле (6.34), а ширина калибра:

$$ш = 4C_{ш}b + e_r. \quad (6.66)$$

Поэтому ордината нейтральной линии развернутого швеллерного калибра представится так:

$$Z_H = \frac{2b(C_H b + C_B e) + 0,5q}{4C_{ш}b + e_r}, \quad (6.67)$$

где C_H и C_B — тригонометрические функции угла закрытия полок и ножки (табл. 1).

Для развернутых швеллерных калибров в варианте $e' < 2b'$ точно таким же образом можно определить:

$$\Phi = C_H(b^2 + 0,25e^2). \quad (6.68)$$

Представляя ширину калибра

$$Ш = c_{ш}(2b + e), \quad (6.69)$$

получим ординату нейтральной линии во II варианте:

$$Z_H = \frac{C_H(b^2 + 0,25e^2) + 0,5q}{C_{ш}(2b + e)}. \quad (6.70)$$

Для прямого открытого по полкам швеллерного чистового калибра (рис. 89) площадь $\Phi = 0$, ширина калибра e , а площадь калибра q достаточно точно определится по формуле (6.22). Поэтому ордината прямого чистового швеллерного калибра представится так:

$$Z_H = \frac{q}{2e}. \quad (6.71)$$

Или в другом, развернутом, виде:

$$Z_H = \frac{b(h_K + h) + h_N(e - 2h)}{2e}. \quad (6.72)$$

Наконец, установим вспомогательную площадь для полураз-

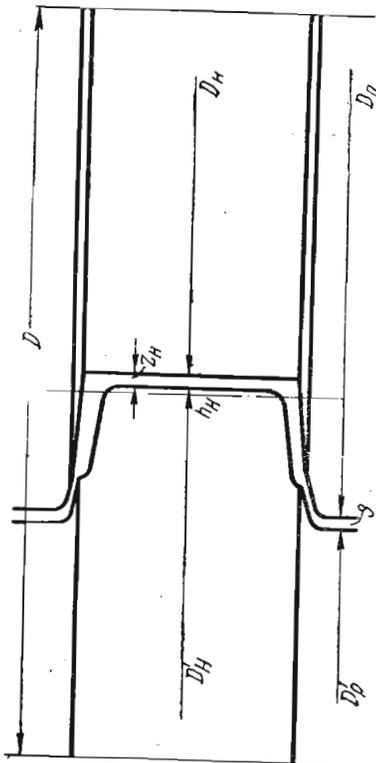


Рис. 89. Нейтральная линия и катающие диаметры валков по ручьям чистового швеллерного калибра

вернутого предчистового швеллерного калибра (см. рис. 83 или 83а):

$$\Phi = \rho^2 \sin \alpha_H \cos \alpha_H + \rho^2 (\alpha_H - \sin \alpha_H \cos \alpha_H) + 2\rho \sin^2 \alpha_H + b^2 \sin \alpha_H \cos \alpha_H,$$

или после подстановки и преобразования получим:

$$\Phi = 0,0482 e^2 + 0,175 b^2 + 0,0013 be, \quad (6.73)$$

а также ширину калибра —

$$ш = 2[\rho \cos \alpha_H + (\rho + b) \sin \alpha_H]$$

или после преобразования:

$$ш = 0,98 e + 0,406 b. \quad (6.74)$$

После этого определим ординату нейтральной линии калибра:

$$Z_H = \frac{0,0482 e^2 + 0,175 b^2 + 0,0013 be + 0,5q}{0,98 e + 0,406 b}. \quad (6.75)$$

67. Катающие диаметры валков по ручьям швеллерных калибров

Положение в валках развернутого швеллерного калибра (рис. 88) определяется катающими диаметрами по внешним углам калибра, по середине ножки и по краям полок калибра.

Для верхнего валка катающие диаметры: по внешним вершинам углов калибра:

$$D_y = D - 2Z_H; \quad (6.76)$$

по краям полок (и по середине ножки в варианте $e' > 2b'$):

$$D_K = D_y + 2b_y, \quad (6.77)$$

или, подставляя значение b_y из уравнения (6.62), будем иметь:

$$D_K = D_y + 2C_B b; \quad (6.78)$$

по середине ножки в варианте $e' < 2b'$:

$$D_H = D_y + C_B e. \quad (6.79)$$

Для нижнего валка катающие диаметры: по краям полок:

$$D'_K = 2(D - h_K) - D_K; \quad (6.80)$$

по середине ножки в обоих вариантах (при $e' > 2b'$ и $e' < 2b'$):

$$D'_H = 2(D - h_H) - D_H. \quad (6.81)$$

Положение в валках прямого чистового калибра (рис. 89) определяется катающими диаметрами по середине ножки:

для верхнего валка D_H по формуле (6.76)

» нижнего » D'_H » » (6.81)

Положение в валках предчистового полуразвернутого швеллерного калибра (см. рис. 83) определяется катающими диаметрами по внешним вершинам углов калибра (6.76), посередине ножки относительно верхнего валка —

$$D_n = D_y + 2 \left(\rho \sin \alpha_n + 2 \rho \sin^2 \frac{\alpha_n}{2} \right),$$

или после преобразования:

$$D_n = D_y + 0,1955 e - 0,093 b \quad (6.82)$$

и посередине ножки относительно нижнего валка (6.81).

68. Захват металла валками

Как легко видеть, при задаче прямоугольной заготовки в развернутый швеллерный калибр (рис. 90) ее захват в варианте $e' > 2b'$ осуществляется в трех точках — по краям и середине верхнего валка и по середине ножки нижнего валка, при этом расстояние между захватывающими точками верхнего и нижнего

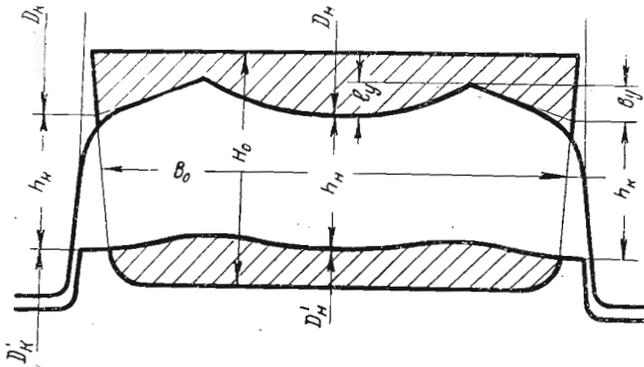


Рис. 90. Задача заготовки в развернутый швеллерный калибр

валков h_n , а максимальное обжатие заготовки, по которому следует проверить условия захвата металла, будет:

$$\Delta h_m = H_0 - h_n \quad (6.83)$$

При среднем катающем диаметре валков в точках захвата (6.79) и (6.81)

$$D_0 = 0,5 (D_n + D'_n) \quad (6.84)$$

угол захвата представится так:

$$\alpha_s = 2 \arcsin \sqrt{\frac{H_0 - h_n}{D_n + D'_n}} \quad (6.85)$$

Для случаев калибровки швеллеров в варианте $e' < 2b'$ захват заготовки осуществляется по краям калибра верхним валком и по середине ножки нижним валком, при этом расстояние между захватывающими точками $h_n = (b_y - e_y)$, а максимальное обжатие заготовки

$$\Delta h_m = H_0 - [h_n - (b_y - e_y)]$$

или

$$\Delta h_m = H_0 - h_n + C_b (b - 0,5 e) \quad (6.86)$$

При среднем катающем диаметре валков в точках захвата (6.78) и (6.81)

$$D_0 = 0,5 (D_n + D'_n) \quad (6.87)$$

угол захвата представится так:

$$\alpha_s = 2 \arcsin \sqrt{\frac{H_0 - h_n + C_b (b - 0,5 e)}{D_n + D'_n}} \quad (6.88)$$

IV. КАЛИБРОВКА ШВЕЛЛЕРА № 12

Методика развернутой калибровки валков для прокатки швеллерного профиля иллюстрируется расчетом калибровки швеллера № 12, получаемого на стане трио $D = 500$ мм.

69. Размеры заданного к получению швеллерного профиля

Заданы основные размеры швеллера:
высота ножки:

$$e' = 120 \text{ мм};$$

допускаемые отклонения по высоте ножки:

$$\nu_{ш} = \pm 2 \text{ мм};$$

толщина ножки:

$$h'_n = 5,5 \text{ мм};$$

допускаемые отклонения по толщине ножки:

$$\nu_t = \pm 0,6 \text{ мм};$$

ширина полки:

$$b' = 53 \text{ мм};$$

допускаемые отклонения по ширине полки:

$$\nu_{ш} = \pm 1,5 \text{ мм};$$

уклон внутренних граней полок:

$$\text{tg } \varphi' = 0,10;$$

средняя толщина полки:

$$t'_H = 9 \text{ мм};$$

радиус закругления на стыке полки с ножкой:

$$r' = 9 \text{ мм};$$

радиус закругления по краям полок изнутри:

$$r'_H = 4,5 \text{ мм};$$

по этим размерам можно определить толщину по краям полок швеллера (6.01):

$$h'_K = t'_H - 0,5(b' - h'_H) \operatorname{tg} \varphi' = 9 - 0,5(53 - 5,5) 0,10 = 6,62 \text{ мм}$$

и толщину полок по основанию (6.02):

$$h' = t'_H + 0,5(b' + h'_H) \operatorname{tg} \varphi' = 9 + 0,5(53 + 5,5) 0,10 = 11,92 \text{ мм}.$$

70. Чистовой прямой швеллерный калибр и задаваемый в него раскат

Толщина ножки чистового калибра (6.03):

$$h_H = \lambda_t(h'_H - v_H) = 1,013(5,5 - 0,6) = 5 \text{ мм}.$$

Толщина ножки задаваемого в калибр раската (6.04) при коэффициенте обжатия по ножке $\lambda_H = 1,15$:

$$H_H = \lambda_H h_H = 1,15 \cdot 5 = 5,8 \text{ мм}.$$

Обжатие по ножке в чистовом калибре (6.05):

$$\Delta h = H_H - h_H = 5,8 - 5 = 0,8 \text{ мм}.$$

При среднем катающем радиусе валков по ножке (6.07):

$$R_{сн} \approx 0,5(D - h_H) = 0,5(500 - 5) \approx 243 \text{ мм}$$

и коэффициенте $C_z = 0,47$ возможное свободное уширение ножки (6.06):

$$Z = C_z \sqrt{\frac{R_{сн} \Delta h_H^3}{H_H^2}} = 0,47 \sqrt{\frac{248 \cdot 0,8^3}{5,8^2}} = 0,9 \text{ мм}.$$

Ограниченное уширение ножки (6.08):

$$\Delta e = KZ_H = 0,5 \cdot 0,9 = 0,4 \text{ мм}.$$

Ширина ножки чистового калибра (6.09):

$$e_1 = \lambda(e' - v_e) = 1,013(120 - 2) = 119,4 \text{ мм}.$$

Ширина ножки задаваемого в калибр раската (6.10):

$$E_1 = e_1 - \Delta e = 119,4 - 0,4 = 119 \text{ мм}.$$

Толщина полки по основанию в чистовом калибре (6.11):

$$h_1 = \lambda_t h' = 1,013 \cdot 11,92 = 12,1 \text{ мм}.$$

При коэффициенте обжатия по полкам, равном коэффициенту обжатия по ножке $\lambda = 1,15$, толщина по основанию полок задаваемого в калибр раската (6.12):

$$H = \lambda h = 1,15 \cdot 12,1 = 13,9 \text{ мм}.$$

Толщина по краям полок чистового калибра (6.13):

$$h_{K1} = \lambda_t h_{K1} = 1,013 \cdot 6,62 = 6,7 \text{ мм}$$

и толщина по краям полок задаваемого в калибр раската (6.14):

$$H_K = \lambda h_K = 1,15 \cdot 6,7 = 7,7 \text{ мм}.$$

Обжатия по основанию полок (6.15):

$$\Delta h = H - h = 13,9 - 12,1 = 1,8 \text{ мм},$$

по краям полок (6.16):

$$\Delta h_K = H_K - h_K = 7,7 - 6,7 = 1 \text{ мм}.$$

Ширина полки задаваемого в калибр раската (6.18):

$$b_1 = \lambda_t(b' - v_b) = 1,013(53 - 1,5) = 52,2 \text{ мм}.$$

Уширение полки в чистовом калибре (6.19):

$$\Delta b = \frac{b_1 h_H}{D} = \frac{52,2 \cdot 5}{500} = 0,5 \text{ мм}.$$

Ширина полки задаваемого в калибр раската (6.18):

$$B_1 = b_1 - \Delta b = 52,2 - 0,5 = 51,7 \text{ мм}.$$

Радиус закругления на стыке полок с ножкой (6.20):

$$r_1 = \lambda_t r' = 1,013 \cdot 9 = 9,1 \text{ мм}.$$

Радиус закругления по краям полок (6.21):

$$r_{K1} = \lambda_t r'_K = 1,013 \cdot 4,5 \approx 4,6 \text{ мм}.$$

Площадь чистового калибра (6.22):

$$q = b(h_K + h) + h_H(e - 2h) = 52,2(6,7 + 12,1) + 5(119,4 - 2 \cdot 12,1) = 1456 \text{ мм}^2.$$

71. Предчистовой полуразвернутый швеллерный калибр и задаваемый в него раскат

Толщина ножки предчистового калибра $h_{H2} = H_{H1}$, или $h_{H2} = 5,8 \text{ мм}$, а толщина ножки задаваемого в калибр раската (6.04) при коэффициенте обжатия по ножке $\lambda_H = 1,20$:

$$H_H = \lambda_H h_H = 1,20 \cdot 5,8 = 6,9 \text{ мм}.$$

Обжатие по ножке (6.05):

$$\Delta h_n = H_n - h_n = 6,9 - 5,8 = 1,1 \text{ мм.}$$

При среднем катающем радиусе валков по ножке (6.07):

$$R_{сн} \approx 0,5 (D - h_n) = 0,5 (500 - 5,8) \approx 247 \text{ мм.}$$

и коэффициенте $C_z = 0,47$ возможное свободное уширение ножки (6.06):

$$Z = C \sqrt{\frac{R_{сн} \Delta h_n^3}{H_n^2}} = 0,47 \sqrt{\frac{247 \cdot 1,1^3}{6,9^2}} = 1,2 \text{ мм.}$$

Ограниченное уширение ножки (6.08):

$$\Delta e = KZ = 0,5 \cdot 1,2 = 0,6 \text{ мм.}$$

Ширина ножки предчистового калибра $e_2 = E_1$, или $e_2 = 119 \text{ мм}$, а ширина ножки задаваемого в калибр раската (6.10):

$$E = e - \Delta e = 119 - 0,6 = 118,4 \text{ мм.}$$

Толщина по основанию полок предчистового калибра $h_2 = H_1$, или $h_2 = 13,9 \text{ мм}$, а толщина по основанию полок задаваемого в калибр раската (6.12) при коэффициенте обжатия по полкам $\lambda = 1,20$:

$$H = \lambda h = 1,20 \cdot 13,9 = 16,7 \text{ мм.}$$

Толщина по краям полок предчистового калибра $h_{к2} = H_{к1}$ или $h_{к2} = 7,7 \text{ мм}$, а толщина по краям полок задаваемого в калибр раската (6.14):

$$H_k = \lambda h_k = 1,20 \cdot 7,7 = 9,2 \text{ мм.}$$

Ширина полок предчистового калибра $b_2 = B_1$, или $b_2 = 51,7 \text{ мм}$, а ширина полок задаваемого в калибр раската $B_2 = b_2$.

Обжатие по краям полок в предчистовом калибре

$$\Delta h_k = H_k - h_k = 9,2 - 7,7 = 1,5 \text{ мм.}$$

Радиус закругления на стыке полок с ножкой (6.48):

$$r \approx h_{ср} = 11 \text{ мм.}$$

Площадь предчистового калибра:

$$q = b(h_k + h) + h_n(e - 2h) \approx 51,7(7,7 + 13,9) + 5,8(119 - 2 \cdot 13,9) = 1644 \text{ мм}^2.$$

72. Первый по ходу расчета подготовительный развернутый швеллерный калибр

В нашем задании калибровки валков имеем соотношение $e > 2b'$, так как $e' = 120 \text{ мм}$, а $2b' = 2 \cdot 53 = 106 \text{ мм}$, и следовательно расчет калибровочных данных должен быть по первому варианту.

Толщина ножки первого развернутого швеллерного калибра $h_{н3} = H_{н2}$, или $h_{н3} = 6,9 \text{ мм}$, а толщина ножки задаваемого в калибр раската при коэффициенте обжатия по ножке $\lambda_n = 1,70$:

$$H_n = \lambda_n h_n = 1,70 \cdot 6,9 = 11,7 \text{ мм.}$$

Ширина ножки в развернутом состоянии (6.24):

$$e_3 = E_2 - \alpha h_{н3} = 118,4 - 0,785 \cdot 6,9 = 113 \text{ мм.}$$

Толщина по основанию полок калибра $h_3 = H_2$, или $h_3 = 16,7 \text{ мм}$, а толщина по краям полок $h_{к3} = H_{к2}$, или $h_{к3} = 9,2 \text{ мм}$, при этом средняя толщина полок калибра (6.25):

$$h_{ср} = 0,5(h_k + h) = 0,5(9,2 + 16,7) \approx 13 \text{ мм}$$

и средняя толщина развернутой части полки (6.26):

$$h_p = 0,25(3h_{к3} + h_3) = 0,25(3 \cdot 9,2 + 16,7) = 11,1 \text{ мм.}$$

Ширина полок калибра в развернутом состоянии (6.27):

$$b_3 = B_2 - 0,5 \alpha h_p = 51,7 - 0,5 \cdot 0,785 \cdot 11,1 = 47,3 \text{ мм.}$$

Горизонтальный участок ножки (6.28):

$$e_{г3} = e_3 - 2b_3 = 113 - 2 \cdot 47,3 = 18,4 \text{ мм.}$$

Горизонтальная проекция полки (6.31) и (табл. 1):

$$b_{x3} = C_{ш} b_3 = 0,804 \cdot 47,3 = 33 \text{ мм.}$$

Горизонтальная проекция ножки (6.32):

$$e_{x3} = e_{г3} + 2b_{x3} = 18,4 + 2 \cdot 33 = 94,4 \text{ мм.}$$

Площадь развернутого швеллерного калибра (6.34):

$$q = b(h_k + h) + eh_n = 47,3(9,2 + 16,7) + 113 \cdot 6,9 = 2005 \text{ мм}^2.$$

73. Расчет всех других подготовительных развернутых швеллерных калибров

Ранее была установлена по первому развернутому калибру толщина по краям полок $h_{к3} = 9,2 \text{ мм}$ и по основанию полок $h_3 = 16,7 \text{ мм}$.

При общем выбираемом для нашего случая количестве фасонных калибров $n = 6$ и коэффициенте обжатия по ножке и краям полок $\lambda_k = 1,70 \text{ мм}$, установим коэффициенты обжатия по основанию полок всех развернутых швеллерных калибров (6.35):

$$\lambda = \lambda_k \sqrt{\frac{h_{к3}}{h_3}} = 1,70 \sqrt{\frac{9,2}{16,7}} = 1,396.$$

Таким образом могут быть рассчитаны по развернутым калибрам следующие величины.

Толщина ножки (6.4):

$$3. h_{\text{н}} = 6,9 \text{ мм}, H_{\text{н}} = \lambda h_{\text{н}} = 1,70 \cdot 6,9 = 11,7 \text{ мм.}$$

$$4. h_{\text{н}} = 11,7 \text{ мм}, H_{\text{н}} = \lambda h_{\text{н}} = 1,70 \cdot 11,7 = 20 \text{ мм.}$$

$$5. h_{\text{н}} = 20 \text{ мм}, H_{\text{н}} = \lambda h_{\text{н}} = 1,70 \cdot 20 = 34 \text{ мм.}$$

$$6. h_{\text{н}} = 34 \text{ мм},$$

Толщина по краям полок (6.14):

$$3. h_{\text{к}} = 9,2 \text{ мм}, H_{\text{к}} = \lambda h_{\text{к}} = 1,70 \cdot 9,2 = 15,7 \text{ мм.}$$

$$4. h_{\text{к}} = 15,7 \text{ мм}, H_{\text{к}} = \lambda h_{\text{к}} = 1,70 \cdot 15,7 = 26,7 \text{ мм.}$$

$$5. h_{\text{к}} = 26,7 \text{ мм}, H_{\text{к}} = \lambda h_{\text{к}} = 1,70 \cdot 26,7 = 45,5 \text{ мм.}$$

$$6. h_{\text{к}} = 45,5 \text{ мм},$$

Толщина по основанию полок (6.12):

$$3. h = 16,7 \text{ мм}, H = \lambda h = 1,396 \cdot 16,7 = 23,3 \text{ мм.}$$

$$4. h = 23,3 \text{ мм}, H = \lambda h = 1,396 \cdot 23,3 = 32,6 \text{ мм.}$$

$$5. h = 32,6 \text{ мм}, H = \lambda h = 1,396 \cdot 32,6 = 45,5 \text{ мм.}$$

$$6. h = 45,5 \text{ мм},$$

Горизонтальная проекция полок развернутых калибров (6.31), (6.36) и (6.37):

$$3. b_x = 38 \text{ мм}, B_x = b_x - \Delta b_x = 38 - 1 = 37 \text{ мм.}$$

$$4. b_x = 37 \text{ мм}, B_x = b_x - \Delta b_x = 37 - 2 = 35 \text{ мм.}$$

$$5. b_x = 35 \text{ мм}, B_x = b_x - \Delta b_x = 35 - 3 = 32 \text{ мм.}$$

$$6. b_x = 32 \text{ мм},$$

Ширина полок развернутых калибров (6.27), (6.38) и (табл. 1):

$$3. b = 47,3 \text{ мм.}$$

$$4. b = \frac{b_x}{C_{\text{ш}}} = \frac{37}{0,844} = 43,8 \text{ мм.}$$

$$5. b = \frac{b_x}{C_{\text{ш}}} = \frac{35}{0,899} = 38,9 \text{ мм.}$$

$$6. b = \frac{b_x}{C_{\text{ш}}} = \frac{32}{0,960} = 33,3 \text{ мм.}$$

Горизонтальный участок ножки (6.28) и (6.37):

$$3. e_{\text{Г}} = 18,4 \text{ мм},$$

$$4. e_{\text{Г}} = e_{x_3} - 2b_x = 94,4 - 2 \cdot 37 = 20,4 \text{ мм.}$$

$$5. e_{\text{Г}} = e_{x_3} - 2b_x = 94,4 - 2 \cdot 35 = 24,4 \text{ мм.}$$

$$6. e_{\text{Г}} = e_{x_3} - 2b_x = 94,4 - 2 \cdot 32 = 30,4 \text{ мм.}$$

Ширина ножки развернутых калибров (6.24) и (6.40):

$$3. e = 113 \text{ мм.}$$

$$4. e = e_{\text{Г}} + 2b = 20,4 + 2 \cdot 43,8 = 103,0 \text{ мм.}$$

$$5. e = e_{\text{Г}} + 2b = 24,4 + 2 \cdot 38,9 = 102,2 \text{ мм.}$$

$$6. e = e_{\text{Г}} + 2b = 30,4 + 2 \cdot 33,3 = 97,0 \text{ мм.}$$

Площадь развернутых швеллерных калибров (6.34):

$$3. q = 2005 \text{ мм}^2.$$

$$4. q = b(h_{\text{к}} + h) + eh_{\text{н}} = 43,8(15,7 + 23,3) + 103 \cdot 11,7 = 2973 \text{ мм}^2.$$

$$5. q = b(h_{\text{к}} + h) + eh_{\text{н}} = 38,9(26,7 + 32,6) + 102,2 \cdot 20 = 4350 \text{ мм}^2.$$

$$6. q = b(h_{\text{к}} + h) + eh_{\text{н}} = 33,3(45,5 + 45,5) + 97 \cdot 34 = 6330 \text{ мм}^2.$$

Средний коэффициент вытяжки по проускам в развернутых калибрах (6.42) и (6.52):

$$3. \mu = \frac{Q}{q} = \frac{2973}{2005} = 1,475.$$

$$4. \mu = \frac{Q}{q} = \frac{4350}{2973} = 1,462.$$

$$5. \mu = \frac{Q}{q} = \frac{6330}{4350} = 1,454.$$

$$6. \mu = \frac{Q}{q} = \frac{9920}{6330} = 1,568.$$

Малые радиусы кривизны внешних граней изогнутых участков полок и ножки (6.43):

$$3. R_{\text{м}} = \frac{0,5b}{\alpha} = \frac{0,5 \cdot 47,3}{0,785} = 30,2 \text{ мм.}$$

$$4. R_{\text{м}} = \frac{0,5b}{\alpha} = \frac{0,5 \cdot 43,8}{0,698} = 31,4 \text{ мм.}$$

$$5. R_{\text{м}} = \frac{0,5b}{\alpha} = \frac{0,5 \cdot 38,9}{0,558} = 34,9 \text{ мм.}$$

$$6. R_{\text{м}} = \frac{0,5b}{\alpha} = \frac{0,5 \cdot 38,3}{0,349} = 47,7 \text{ мм.}$$

Бóльшие радиусы кривизны изогнутых участков ножки (6.45):

$$3. R_{н0} = R_{нм} + h_{н} = 30,2 + 6,9 = 37,1 \text{ мм.}$$

$$4. R_{нс} = R_{нм} + h_{н} = 31,4 + 11,7 = 43,1 \text{ мм.}$$

$$5. R_{н0} = R_{нм} + h_{н} = 34,9 + 20 = 54,9 \text{ мм.}$$

$$6. R_{н0} = R_{нм} + h_{н} = 47,7 + 34 = 81,7 \text{ мм.}$$

Бóльшие радиусы кривизны внутренней грани изогнутого участка полки (6.46):

$$3. R_{б} = R_{м} + h_{к} = 30,2 + 9,2 = 39,4 \text{ мм.}$$

$$4. R_{б} = R_{м} + h_{к} = 31,4 + 15,7 = 47,1 \text{ мм.}$$

$$5. R_{б} = R_{м} + h_{к} = 34,9 + 26,7 = 61,3 \text{ мм.}$$

$$6. R_{б} = R_{м} + h_{к} = 47,7 + 45,5 = 93,2 \text{ мм.}$$

Средняя толщина полок по калибрам (6.47):

$$3. h_{ср} = 0,5 (h_{к} + h) = 0,5 (9,2 + 16,7) = 13 \text{ мм.}$$

$$4. h_{ср} = 0,5 (h_{к} + h) = 0,5 (15,7 + 23,3) = 19,5 \text{ мм.}$$

$$5. h_{ср} = 0,5 (h_{к} + h) = 0,5 (26,7 + 32,6) = 29,6 \text{ мм.}$$

$$6. h_{ср} = 0,5 (h_{к} + h) = 0,5 (45,5 + 45,5) = 45,5 \text{ мм.}$$

Радиусы закругления на стыке полок с ножкой (6.48) и по краям полок (6.49):

$$3. r = 13 \text{ мм, } r_{к} = 5 \text{ мм.}$$

$$4. r = 20 \text{ мм, } r_{к} = 8 \text{ мм.}$$

$$5. r = 30 \text{ мм, } r_{к} = 21 \text{ мм.}$$

$$6. r = 45 \text{ мм, } r_{к} = 23 \text{ мм.}$$

74. Определение размеров заготовки

Высота прямоугольной заготовки, задаваемой плашмя в первый по ходу прокатки швеллерный калибр (см. рис. 90) при выбранном коэффициенте обжатия $\lambda = 1,7$ и средней толщине раската после первого пропуска (1,25)

$$h_c = \frac{q}{ш} = \frac{6330}{158,4} = 40 \text{ мм}$$

составит (6.50):

$$H_0 = \lambda h_c = 1,7 \cdot 40 = 68 \text{ мм.}$$

Ширина заготовки (6.51):

$$B_0 = 2 b_x + e_x - Z = 2 \cdot 32 + 94,4 - 12,2 \approx 146 \text{ мм.}$$

Площадь поперечного сечения заготовки (6.52):

$$Q_0 = H_0 B_0 = 68 \cdot 146 = 9920 \text{ мм}^2.$$

75. Проверка заполнения калибров металлом

Средняя толщина раската после пропуска (1.25):

$$3. h_c = \frac{q}{ш} = \frac{2005}{170,4} = 11,8 \text{ мм.}$$

$$4. h_c = \frac{q}{ш} = \frac{2973}{168,4} = 17,7 \text{ мм.}$$

$$5. h_c = \frac{q}{ш} = \frac{4350}{164,4} = 26,4 \text{ мм.}$$

$$6. h_c = \frac{q}{ш} = \frac{6330}{158,4} = 40,0 \text{ мм.}$$

Средняя толщина раската, задаваемого в калибр (6.12):

$$3. H_c = \lambda h_c = 1,7 \cdot 11,8 = 20,0 \text{ мм.}$$

$$4. H_c = \lambda h_c = 1,7 \cdot 17,7 = 30,1 \text{ мм.}$$

$$5. H_c = \lambda h_c = 1,7 \cdot 26,4 = 44,8 \text{ мм.}$$

$$6. H_c = \lambda h_c = 1,7 \cdot 40 = 68,0 \text{ мм.}$$

Среднее обжатие за пропуск (1.23):

$$3. \Delta h_c = H_c - h_c = 20,0 - 11,8 = 8,2 \text{ мм.}$$

$$4. \Delta h_c = H_c - h_c = 30,1 - 17,7 = 12,4 \text{ мм.}$$

$$5. \Delta h_c = H_c - h_c = 44,8 - 26,4 = 18,4 \text{ мм.}$$

$$6. \Delta h_c = H_c - h_c = 68,0 - 40,0 = 28,0 \text{ мм.}$$

Средний катающий радиус валков по калибру (1.26):

$$3. R_c = 0,5 (D - h_c) = 0,5 (500 - 11,8) = 244 \text{ мм.}$$

$$4. R_c = 0,5 (D - h_c) = 0,5 (500 - 17,7) = 241 \text{ мм.}$$

$$5. R_c = 0,5 (D - h_c) = 0,5 (500 - 26,4) = 237 \text{ мм.}$$

$$6. R_c = 0,5 (D - h_c) = 0,5 (500 - 40,0) = 230 \text{ мм.}$$

Угол захвата по среднему обжатию (2.13):

$$3. \alpha_c = \sqrt{\frac{\Delta h_c}{R_c}} = \sqrt{\frac{8,2}{244}} = 0,183 \text{ рад.}$$

$$4. \alpha_c = \sqrt{\frac{\Delta h_c}{R_c}} = \sqrt{\frac{12,4}{241}} = 0,227 \text{ рад.}$$

$$5. \alpha_c = \sqrt{\frac{\Delta h_c}{R_c}} = \sqrt{\frac{18,4}{237}} = 0,269 \text{ рад.}$$

$$6. \alpha_c = \sqrt{\frac{\Delta h_c}{R_c}} = \sqrt{\frac{28}{230}} = 0,349 \text{ рад.}$$

Температура металла за пропуск и коэффициент трения металла о валки (1.38):

3. $t \approx 940^\circ$; $f = 1,05 - 0,0005 t = 1,05 - 0,0005 \cdot 940 = 0,580$.
4. $t \approx 970^\circ$; $f = 1,05 - 0,0005 t = 1,05 - 0,0005 \cdot 970 = 0,565$.
5. $t \approx 1000^\circ$; $f = 1,05 - 0,0005 t = 1,05 - 0,0005 \cdot 1000 = 0,550$.
6. $t \approx 1030^\circ$; $f = 1,05 - 0,0005 t = 1,05 - 0,0005 \cdot 1030 = 0,535$.

Коэффициенты C_z (рис. 16):

3. При $\frac{\sigma_c}{f} = \frac{0,183}{0,580} = 0,316$, $C_z = 0,45$
4. При $\frac{\sigma_c}{f} = \frac{0,227}{0,565} = 0,402$, $C_z = 0,43$.
5. При $\frac{\sigma_c}{f} = \frac{0,269}{0,550} = 0,489$, $C_z = 0,41$.
6. При $\frac{\sigma_c}{f} = \frac{0,349}{0,535} = 0,653$, $C_z = 0,37$.

Возможное уширение раската по калибрам (2.12):

3. $Z = C_z \sqrt{\frac{R_c \Delta h_c^3}{H_c^2}} = 0,45 \sqrt{\frac{244 \cdot 8,2^3}{17,7^2}} = 9,3 \text{ мм.}$
4. $Z = C_z \sqrt{\frac{R_c \Delta h_c^3}{H_c^2}} = 0,43 \sqrt{\frac{241 \cdot 12,4^3}{26,4^2}} = 11,0 \text{ мм.}$
5. $Z = C_z \sqrt{\frac{R_c \Delta h_c^3}{H_c^2}} = 0,41 \sqrt{\frac{237 \cdot 18,4^3}{40^2}} = 12,5 \text{ мм.}$
6. $Z = C_z \sqrt{\frac{R_c \Delta h_c^3}{H_c^2}} = 0,37 \sqrt{\frac{230 \cdot 28^3}{68^2}} = 12,2 \text{ мм.}$

Приращение ширины полок по калибрам (6.53):

3. $\Delta b = b - B = 47,3 - 43,8 = 3,5 \text{ мм.}$
4. $\Delta b = b - B = 43,8 - 38,9 = 4,9 \text{ мм.}$
5. $\Delta b = b - B = 38,9 - 33,3 = 5,6 \text{ мм.}$

Сопоставляя возможное свободное уширение раската с приращением ширины полок, допускаемым размерами калибра, устанавливаем, что по всем развернутым швеллерным калибрам

$$\Delta b > 0,5 Z,$$

и следовательно, калибры должны нормально заполняться металлом.

76. Нейтральная линия швеллерных калибров

Ордината нейтральной линии чистового швеллерного калибра (6.71):

$$1. Z_H = \frac{q}{2e} = \frac{1456}{2 \cdot 119,4} = 6,1 \text{ мм.}$$

Предчистовой полуразвернутый швеллерный калибр (6.75):

$$2. Z_H = \frac{0,0482 e^2 + 0,175 b^2 + 0,0013 be + 0,5 q}{0,98 e + 0,406 b} =$$

$$= \frac{0,0482 \cdot 119^2 + 0,175 \cdot 51,7^2 + 0,0013 \cdot 119 \cdot 51,7 + 0,5 \cdot 1644}{0,98 \cdot 119 + 0,406 \cdot 51,7} =$$

$$= 14,4 \text{ мм.}$$

Ордината нейтральной линии развернутых швеллерных калибров (6.67):

$$3. Z_H = \frac{2b(C_H b + C_B e_r) + 0,5 q}{4 C_{III} b + e_r} =$$

$$= \frac{2 \cdot 47,3 (0,558 \cdot 47,3 + 0,54 \cdot 18,4) + 0,5 \cdot 2005}{4 \cdot 0,804 \cdot 47,3 + 18,4} = 26,2 \text{ мм.}$$

$$4. Z_H = \frac{2b(C_H b + C_B e_r) + 0,5 q}{4 C_{III} b + e_r} =$$

$$= \frac{2 \cdot 43,8 (0,525 \cdot 43,8 + 0,489 \cdot 20,4) + 0,5 \cdot 2973}{4 \cdot 0,844 \cdot 43,8 + 20,4} = 26 \text{ мм.}$$

$$5. Z_H = \frac{2b(C_H b + C_B e_r) + 0,5 q}{4 C_{III} b + e_r} =$$

$$= \frac{2 \cdot 38,9 (0,451 \cdot 38,9 + 0,402 \cdot 24,4) + 0,5 \cdot 4350}{4 \cdot 0,899 \cdot 38,9 + 24,4} = 26,1 \text{ мм.}$$

$$6. Z_H = \frac{2b(C_H b + C_B e_r) + 0,5 q}{4 C_{III} b + e_r} =$$

$$= \frac{2 \cdot 33,3 (0,303 \cdot 33,3 + 0,258 \cdot 30,4) + 0,5 \cdot 6330}{4 \cdot 0,960 \cdot 33,3 + 30,4} = 27,5 \text{ мм.}$$

77. Катающие диаметры валков по ручьям швеллерных калибров

Диаметры валков по ручьям чистового калибра:
Для верхнего валка по ножке (6.76):

$$D_H = D - 2 Z_H = 500 - 2 \cdot 6,1 \approx 488 \text{ мм.}$$

Для нижнего валка по ножке (6.81):

$$D'_H = 2 (D - h_H) - D_H = 2 (500 - 5) - 488 = 502 \text{ мм.}$$

Диаметры валков по ручьям предчистового калибра:

Для верхнего валка по внешним вершинам углов калибра (6.76):

$$D_y = D - 2 Z_H = 500 - 2 \cdot 14,4 \approx 471 \text{ мм.}$$

Для верхнего валка по ножке (6.82):

$$D_H = D_y + 0,1965 e - 0,098 b = 471 + 0,1965 \cdot 119 - 0,098 \cdot 51,7 = 489,3 \text{ мм.}$$

Для нижнего валка посередине ножки (6.81):

$$D'_H = 2 (D - h_H) - D_H = 2 (500 - 5,8) - 489,3 = 499,1 \text{ мм.}$$

Катающие диаметры валков по верхним ручьям развернутых швеллерных калибров:

По внешним вершинам углов калибра (6.76):

$$3. D_y = D - 2 Z_H = 500 - 2 \cdot 26,2 \approx 448 \text{ мм.}$$

$$4. D_y = D - 2 Z_H = 500 - 2 \cdot 26 = 448 \text{ мм.}$$

$$5. D_y = D - 2 Z_H = 500 - 2 \cdot 26,1 \approx 448 \text{ мм.}$$

$$6. D_y = D - 2 Z_H = 500 - 2 \cdot 27,5 = 445 \text{ мм.}$$

По краям полок и посередине ножки (6.78):

$$3. D_K = D_y + 2 C_b b = 448 + 2 \cdot 0,54 \cdot 47,3 = 499 \text{ мм.}$$

$$4. D_K = D_y + 2 C_b b = 448 + 2 \cdot 0,489 \cdot 43,8 = 490,9 \text{ мм.}$$

$$5. D_K = D_y + 2 C_b b = 448 + 2 \cdot 0,402 \cdot 38,9 = 479,3 \text{ мм.}$$

$$6. D_K = D_y + 2 C_b b = 445 + 2 \cdot 0,258 \cdot 33,3 = 462,2 \text{ мм.}$$

Катающие диаметры валков по нижним ручьям развернутых швеллерных калибров:

По краям полок (6.80):

$$3. D'_K = 2 (D - h_K) - D_K = 2 (500 - 9,2) - 499 = 482,6 \text{ мм.}$$

$$4. D'_K = 2 (D - h_K) - D_K = 2 (500 - 15,7) - 490,9 = 477,7 \text{ мм.}$$

$$5. D'_K = 2 (D - h_K) - D_K = 2 (500 - 26,7) - 479,3 = 467,3 \text{ мм.}$$

$$6. D'_K = 2 (D - h_K) - D_K = 2 (500 - 45,5) - 462,2 = 446,8 \text{ мм.}$$

По середине ножки (6.81):

$$3. D'_H = 2 (D - h_H) - D_H = 2 (500 - 6,9) - 499 = 487,2 \text{ мм.}$$

$$4. D'_H = 2 (D - h_H) - D_H = 2 (500 - 11,7) - 490,9 = 485,7 \text{ мм.}$$

$$5. D'_H = 2 (D - h_H) - D_H = 2 (500 - 20) - 479,3 = 480,7 \text{ мм.}$$

$$6. D'_H = 2 (D - h_H) - D_H = 2 (500 - 34) - 462,2 = 469,8 \text{ мм.}$$

78. Проверка условий захвата металла валками

При максимальном обжатии прямоугольной заготовки, задаваемой в первый развернутый швеллерный калибр (6.83),

$$\Delta h_m = H_0 - h_H = 68 - 34 = 34 \text{ мм}$$

и катающих диаметрах валков в точках захвата $D_H = 462,2 \text{ мм}$ и $D'_H = 469,8 \text{ мм}$, угол захвата будет (6.85):

$$\alpha_a = 2 \arcsin \sqrt{\frac{H_0 - h_H}{D_H + D'_H}} = 2 \arcsin \sqrt{\frac{34}{462,2 + 469,8}} = 22^\circ.$$

Как видно, угол захвата не превышает допускаемой для валков с насечкой.

По полученным расчетным калибровочным данным построены шаблоны калибров (рис. 91) и смонтированы калибры в валках (табл. 24 и рис. 92).

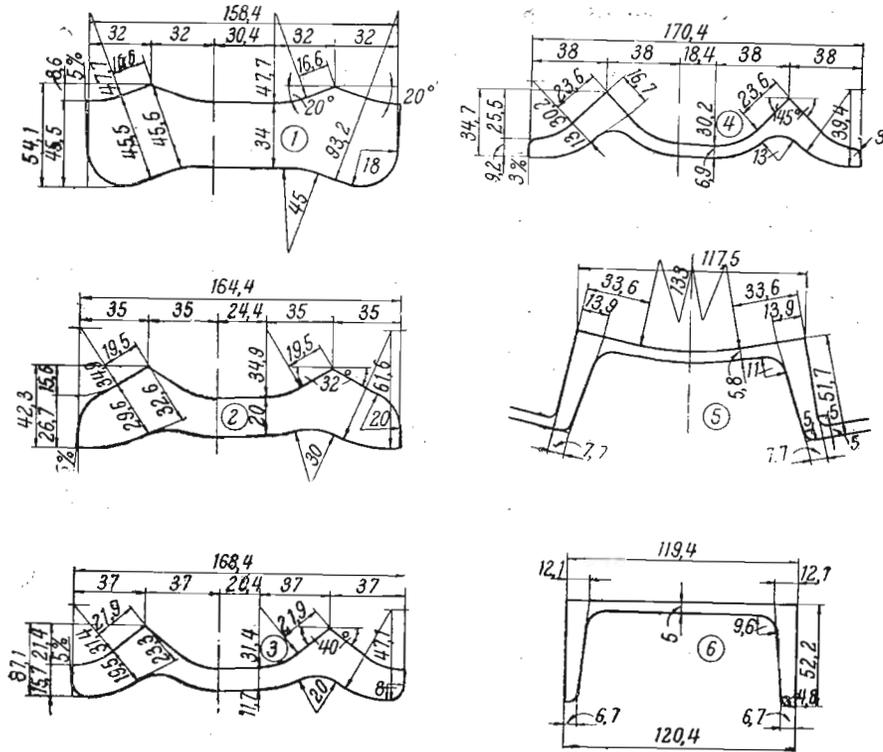


Рис. 91. Шаблоны калибров швеллера № 12

Расчетные показатели калибровки

№ калибра	Ножка										основание			кр
	α	λ	h _н мм	Δh _н мм	e мм	e _x мм	e _г мм	R _{нм} мм	R _{нб} мм	λ	h мм	λ		
													11	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13		
6	—	1,15	5,0	0,8	119,4	—	—	—	—	1,150	12,1	1,15		
5	11° 20'	1,20	5,8	1,1	119,0	117,5	—	133,0	138,8	1,200	13,9	1,20		
4	45° 00'	1,70	6,9	4,8	113,0	94,4	18,4	30,2	37,1	1,396	16,7	1,70		
3	40° 00'	1,70	11,7	8,3	108,0	94,4	20,4	31,4	43,1	1,396	23,3	1,70		
2	32° 00'	1,70	20,0	14,0	102,2	94,4	24,4	34,9	54,9	1,396	32,6	1,70		
1	20° 00'	—	34,0	—	97,0	94,4	30,4	47,7	81,7	—	45,5	—		

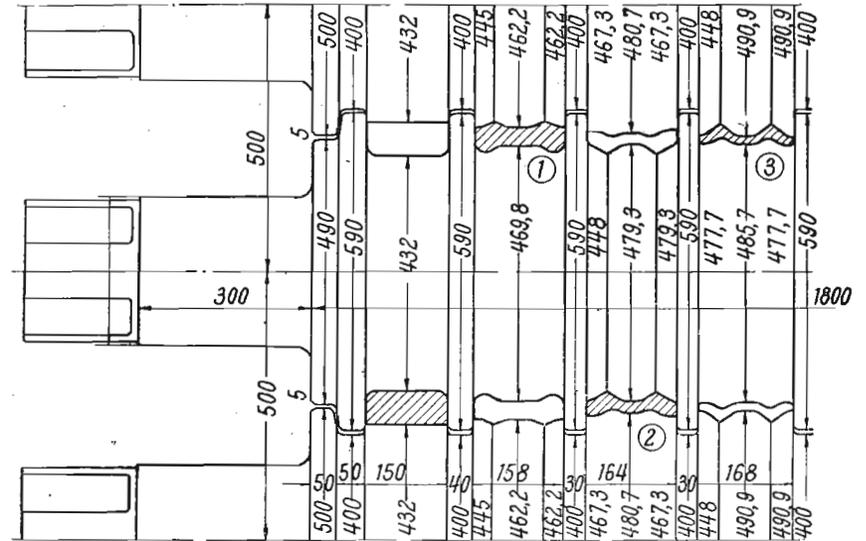


Рис. 92. Рабочие валки трехвалкового стана для прокатки швеллера № 12 (принцип монтажа калибров и конструирования ручьев, буртов и замков)

79. Проверка прочности валков

1. Положение прямоугольной заготовки по отношению к нейтральной линии калибра при задаче в швеллерный калибр устанавливается ординатой (1.53):

$$z_0 = 0,5 (D - H_0) = 0,5 (500 - 68) = 216 \text{ мм.}$$

Таблица 24

швеллера № 12 (рис. 91)

ая		Полюи													
h _к	Δh _к	α	λ	b _x мм	b мм	b _y мм	h _{ср} мм	R _м мм	R _б мм	q мм ²	Q мм ²	μ	Ш мм		
														14	15
6,7	1,0	—	—	—	52,2	—	9,4	—	—	1456	1644	1,130	119,4		
7,7	1,5	78°40'	10,15	51,7	—	10,8	—	—	—	1644	2005	1,200	137,7		
9,2	6,5	45°00'	38	47,3	25,5	13,0	30,2	39,4	2005	2973	1,475	170,4			
15,7	11,0	40°00'	37	43,8	21,4	19,5	31,4	47,1	2973	4350	1,452	168,4			
26,7	18,8	32°00'	35	38,9	15,6	29,6	34,9	61,6	4350	6330	1,454	164,4			
45,5	—	20°00'	32	33,3	8,6	45,5	47,7	93,2	6330	9920	1,568	158,4			

2. Контактная поверхность металла с валком на прямых участках полок и ножки (1.67):

$$F'_x = \frac{1}{2 \operatorname{tg} \alpha} \left\{ (D_y + b \sin \alpha) \sqrt{(D_y + b \sin \alpha)^2 - 4 z_0^2} - \right. \\ \left. - D_y \sqrt{D_y^2 - 4 z_0^2} - 4 z_0^2 \times \right. \\ \left. \times \ln \left[\frac{D_y + b \sin \alpha + \sqrt{(D_y + b \sin \alpha)^2 - 4 z_0^2}}{D_y + \sqrt{D_y^2 - 4 z_0^2}} \right] \right\} = \\ = \frac{1}{2 \cdot 0,364} \left\{ (445 + 33,3 \cdot 0,342) \times \right. \\ \left. \times \sqrt{(445 + 33,3 \cdot 0,342)^2 - 4 \cdot 216^2} - 445 \sqrt{445^2 - 4 \cdot 216^2} - 4 \cdot 216^2 - \right. \\ \left. - 4 \cdot 216^2 \ln \left[\frac{445 + 33,3 \cdot 0,342 + \sqrt{(445 + 33,3 \cdot 0,342)^2 - 4 \cdot 216^2}}{445 + \sqrt{445^2 - 4 \cdot 216^2}} \right] \right\} = \\ = 4120 \text{ мм}^2.$$

3. Контактная поверхность металла с валком по развернутым участкам полок и ножки (1.68):

$$F''_x = \frac{1}{2 \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}} \left\{ D_R \sqrt{D_R^2 - 4 z_0^2} - (D_y + b \sin \alpha) \times \right. \\ \left. \times \sqrt{(D_y + b \sin \alpha)^2 - 4 z_0^2} - \right. \\ \left. - 4 z_0^2 \ln \left[\frac{D_R + \sqrt{D_R^2 - 4 z_0^2}}{D_y + b \sin \alpha + \sqrt{(D_y + b \sin \alpha)^2 - 4 z_0^2}} \right] \right\} = \\ = \frac{1}{2 \cdot 0,176} \left\{ 462,2 \sqrt{462,2^2 - 4 \cdot 216^2} - (445 + 33,3 \times \right. \\ \left. \times 0,342) \sqrt{(445 + 33,3 \cdot 0,342)^2 - 4 \cdot 216^2} - \right. \\ \left. - 4 \cdot 216^2 \ln \left[\frac{462,2 + \sqrt{462,2^2 - 4 \cdot 216^2}}{445 + 33,3 \cdot 0,342 + \sqrt{(445 + 33,3 \cdot 0,342)^2 - 4 \cdot 216^2}} \right] \right\} = \\ = 5130 \text{ мм}^2$$

4. Контактная поверхность металла с валком на горизонтальном участке стенки (1.69):

$$F'''_x = 0,5 e_r D_R \sin \left(2 \operatorname{arc} \sin \sqrt{\frac{0,5 H_0 + b_y - Z_H}{D_R}} \right) = \\ = 0,5 \cdot 30,4 \cdot 462,2 \sin \left(2 \operatorname{arc} \sin \sqrt{\frac{0,5 \cdot 68 + 8,6 - 27,5}{462,2}} \right) = \\ = 2510 \text{ мм}^2.$$

5. Полная контактная поверхность металла с валками (1.70):

$$F_x = F'_x + F''_x + F'''_x = 4120 + 5130 + 2510 = 11760 \text{ мм}^2.$$

Полная контактная поверхность металла с валками, определенная через среднее обжатие (1.22):

$$F = \pi \sqrt{R_c \Delta h_c} = 158,4 \sqrt{230 \cdot 28} = 12700 \text{ мм}^2,$$

отличается от поверхности, определенной по элементам, примерно на 8%. Очевидно для швеллерных калибров полную контактную поверхность металла с валками можно определять достаточно точно и по элементам (1.67), (1.68), (1.69), и упрощенно (1.22).

Удельное сопротивление стали (Ст. 2) при статическом сжатии (1.40):

$$k = (14 - 0,01 t) (1,4 + C + Mn + 0,3 Cr) = \\ = (14 - 0,01 \cdot 1030) (1,4 + 0,09 + 0,60) = 7,73 \text{ кг/мм}^2.$$

При коэффициенте (1.27):

$$\delta = f \sqrt{\frac{4 R_c}{\Delta h_c}} = 0,535 \sqrt{\frac{4 \cdot 230}{28}} = 3,07$$

и относительном обжатии (1.28):

$$\varepsilon_H = \frac{\Delta h_c}{H_c} = \frac{28}{68} = 0,412$$

по кривым Целикова (рис. 5) устанавливаем коэффициент напряженного состояния

$$\left| \frac{p}{k} \right| = 1,48$$

и определяем удельное давление (1.29):

$$p = k \left| \frac{p}{k} \right| = 7,73 \cdot 1,48 = 11,45 \text{ кг/мм}^2.$$

Полное давление металла на один валок (1.21):

$$P = pF = 11,45 \cdot 11760 = 134800 \text{ кг}.$$

Расчетные показатели калибровки

№ калибра	Ножка								основание		край		
	α	λ	h_N	Δh_N	e	e_x	R_{NM}	R_{NO}	λ	h	λ	h_K	Δh_K
			мм	мм	мм	мм	мм	мм					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
5	—	1,15	4,1	0,6	49,1	—	—	—	1,15	8,9	1,15	5,3	0,8
4	11°20'	1,20	4,7	0,9	48,8	48,6	62,8	67,5	1,20	10,2	1,20	6,1	1,2
3	45°00'	1,80	5,6	4,5	43,9	35,4	14,0	19,6	1,39	12,2	1,80	7,3	5,8
2	40°00'	1,80	10,1	8,1	41,9	35,4	15,0	25,1	1,39	17,0	1,80	13,1	10,5
1	32°00'	—	18,2	—	39,4	35,4	17,6	35,8	—	23,6	—	23,6	—

Рис. 93. Шаблоны калибров

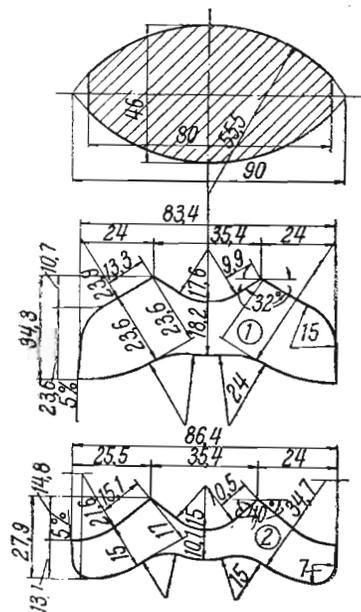
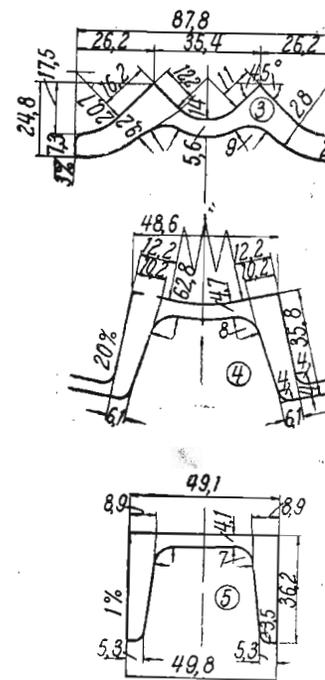


Таблица 25

швеллера № 5 (рис. 93)

Полки										
α	b_x	b	b_y	h_{cp}	R_M	R_0	a	Q	μ	Π
	мм	мм	мм	мм	мм	мм	мм ²	мм ²		мм
15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
—	—	36,2	—	7,1	—	—	642	716	1,115	49,8
78°40'	7,0	35,8	—	8,2	—	—	716	882	1,200	62,3
45°00'	26,2	32,5	17,5	9,2	20,7	28,0	882	1336	1,515	87,8
40°00'	25,5	30,2	14,8	15,0	21,6	34,7	1336	1985	1,487	86,4
32°00'	24,0	26,7	10,7	23,6	23,9	47,5	1985	3180	1,602	83,4

швеллера № 5



Расчетные показатели калибровки

№ калибра	Ножка										основание		
	α	λ	h_N мм	Δh_N мм	e мм	e_x мм	e мм	R_{NM} мм	R_{NO} мм	λ	h мм	λ	
	2	3	4	5	6	7	8	9	10				11
6	—	1,14	6,2	0,9	199,3	—	—	—	—	1,140	15,2	1,14	
5	11°20'	1,19	7,1	1,3	198,7	196,0	—	183,5	190,6	1,190	17,3	1,19	
4	45°00'	1,75	8,4	6,3	191,0	165,0	57,4	42,7	51,1	1,413	20,6	1,75	
3	40°00'	1,75	14,7	11,0	184,6	165,0	59,0	45,0	59,7	1,413	29,1	1,75	
2	32°00'	1,75	25,7	19,3	176,4	165,0	63,0	50,8	76,5	1,413	41,1	1,75	
1	20°00'	—	45,0	—	169,0	165,0	69,0	71,7	116,7	—	58,0	—	

Рис. 94. Шаблоны калибров

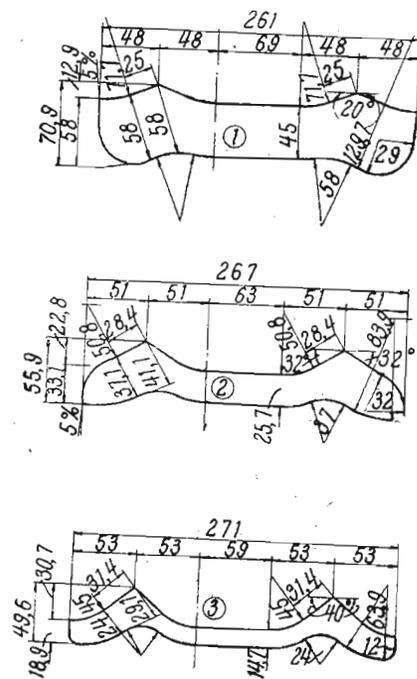
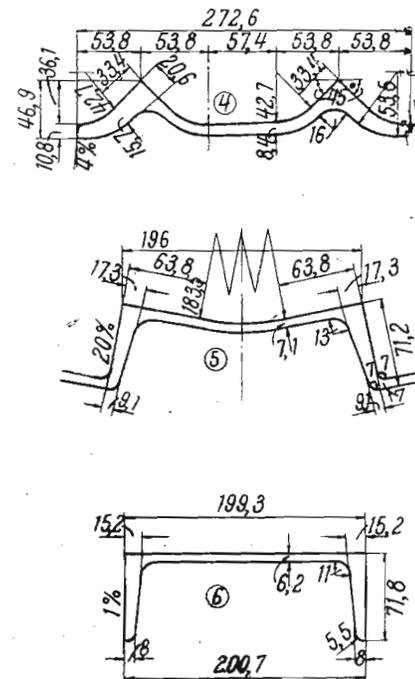


Таблица 26

швеллера № 20 (рис. 94)

Полки		α	b_x мм	b мм	b_y мм	$h_{ср}$ мм	R_M мм	R_O мм	q мм ²	Q мм ²	μ	Π мм		
Край														
h_R мм	Δh_R мм												14	15
8,0	1,1	—	—	71,8	—	11,6	—	—	2713	3043	1,120	199,3		
9,1	1,7	78°40'	14,0	71,2	—	13,2	—	—	3043	3704	1,190	224,3		
10,8	8,1	45°00'	53,8	66,8	36,1	15,7	42,7	53,5	3704	5730	1,575	272,6		
18,9	14,2	40°00'	53,0	62,8	30,7	24,0	45,0	63,9	5730	8730	1,524	271,0		
33,1	24,9	32°00'	51,0	56,7	22,8	37,1	50,8	83,8	8730	13405	1,536	267,0		
58,0	—	20°00'	48,0	50,0	12,9	58,0	71,7	129,7	13405	21900	1,632	261,0		

швеллера № 20



Расчетные показатели калибровки

№ калибра	Ножка										основание		
	α	λ	h _Н мм	Δh _Н мм	e мм	e _х мм	e _Г мм	R _{НМ} мм	R _{НБ} мм	λ	h мм	λ	
													11
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
7	—	1,12	6,7	0,9	300,9	—	—	—	—	1,120	18,3	1,12	
6	11°20'	1,17	7,6	1,3	300,3	295,7	—	215,0	222,6	1,170	20,5	1,17	
5	45°00'	1,70	8,9	6,1	292,2	262	138	49,0	57,9	1,462	24,0	1,70	
4	45°00'	1,70	15,2	10,5	291,6	262	140	48,3	63,5	1,462	35,1	1,70	
3	40°00'	1,70	25,7	18,0	283,6	262	144	50,0	75,7	1,462	51,3	1,70	
2	32°00'	1,70	43,7	30,6	274,4	262	152	54,8	98,5	1,462	75,0	1,70	
1	20°00'	—	74,3	—	268,0	262	164	73,0	147,3	—	109,6	—	

Расчетные показатели калибровки

№ калибра	Ножка										основание		
	α	λ	h _Н мм	Δh _Н мм	e мм	e _х мм	e _Г мм	R _{НМ} мм	R _{НБ} мм	λ	h мм	λ	
													11
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
7	—	1,10	9,6	1,0	402,5	—	—	—	—	1,10	23,9	1,10	
6	11°20'	1,15	10,6	1,6	402,0	396	—	253,0	263,6	1,15	26,3	1,15	
5	45°00'	1,60	12,2	7,3	391,8	356	209,6	58,0	70,2	1,40	30,2	1,60	
4	45°00'	1,60	19,5	11,7	391,0	356	212,0	57,0	76,5	1,40	42,2	1,60	
3	40°00'	1,60	31,2	18,7	381,6	356	216,0	59,3	90,5	1,40	59,2	1,60	
2	32°00'	1,60	49,9	29,9	370,6	356	224,0	65,8	115,7	1,40	82,8	1,60	
1	20°00'	—	79,8	—	361,0	356	236,0	89,5	169,3	—	116,0	—	

Таблица 27

швеллера № 30 (рис. 95)

Полки												
края		α	b _х мм	b мм	b _у мм	h _{ср} мм	R _М мм	R _О мм	q мм ²	Q мм ²	μ	Ш мм
h _К мм	Δh _К мм											
14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
10,0	1,2	—	—	84,0	—	14,2	—	—	4150	4610	1,110	300,9
11,2	1,9	78°40'	16,4	83,3	—	15,8	—	—	4610	5460	1,170	328,4
13,1	9,2	45°00'	62	77,1	41,7	18,6	49,0	62,1	5460	8750	1,604	386,0
22,3	15,6	45°00'	61	75,8	40,9	28,7	48,3	70,6	8750	13510	1,544	384,0
37,9	26,6	40°00'	59	69,8	34,2	44,6	50,0	87,9	13510	20530	1,522	380,0
64,5	45,1	32°00'	55	61,2	24,6	69,8	54,8	119,3	20530	31070	1,512	372,0
109,6	—	20°00'	49	51,0	13,2	109,6	73,0	182,6	31070	46600	1,500	360,0

Таблица 28

швеллера № 40 (рис. 96)

Полки												
края		α	b _х мм	b мм	b _у мм	h _{ср} мм	R _М мм	R _О мм	q мм ²	Q мм ²	μ	Ш мм
h _К мм	Δh _К мм											
14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
14,0	1,4	—	—	99,4	—	19,0	—	—	7175	7790	1,087	402,5
15,4	2,3	78°40'	19,3	98,2	—	20,8	—	—	7790	9145	1,150	433,9
17,7	10,6	45°00'	73,2	91,1	49,2	24,0	58,0	75,7	9145	13920	1,520	502,4
28,3	17,0	45°00'	72,0	89,5	48,3	35,2	57,0	85,3	13920	20570	1,480	500,0
45,3	27,2	40°00'	70,0	82,8	40,0	52,2	59,3	104,6	20570	29880	1,450	496,0
72,5	43,5	32°00'	66,0	73,3	29,0	77,6	65,8	138,3	29880	43300	1,450	488,0
116,0	—	20°00'	60,0	62,5	15,8	116,0	89,5	205,5	43300	65000	1,500	476,0

Имея в виду положение первого по ходу прокатки швеллерного калибра, представленного на рис. 92, установим изгибающий момент на бочке вала (1.19):

$$M_b = P \left(\frac{\Gamma D}{\Gamma + D} - \frac{ш}{8} \right) = 134800 \left(\frac{143 \cdot 37}{180} - \frac{15,8}{8} \right) = 3690000 \text{ кг} \cdot \text{см.}$$

Изгибающий момент по шейке вала (1.20):

$$M_{ш} = \frac{P l_{ш} \Gamma}{2(\Gamma + D)} = \frac{134800 \cdot 30 \cdot 143}{2 \cdot 180} = 1607000 \text{ кг} \cdot \text{см.}$$

С учетом уменьшения диаметра валков вследствие переточек на 10%, напряжение изгиба по бочке вала (1.42):

$$\sigma_b = \frac{M_b}{0,1 \cdot 0,9^3 D_y^3} = \frac{3690000}{0,1 \cdot 0,9^3 \cdot 44,5^3} = 577 \text{ кг/см}^2.$$

Напряжение изгиба в шейках валков (1.43):

$$\sigma_{ш} = \frac{M_{ш}}{0,1 d^3} = \frac{1607000}{0,1 \cdot 28^3} = 732 \text{ кг/см}^2.$$

При крутящем моменте в шейках валков (1.11):

$$M = p ш \Delta h_c R_c \left(1 + \frac{fd}{\sqrt{R_c \Delta h_c}} \right) = 11,45 \cdot 158,4 \cdot 28 \times \\ \times 230 \left(1 + \frac{0,1 \cdot 280}{\sqrt{230 \cdot 28}} \right) = 1580000 \text{ кг} \cdot \text{см.}$$

напряжение скручивания в шейках (1.44):

$$\tau_{ш} = \frac{M}{0,4 d^3} = \frac{1580000}{0,4 \cdot 28^3} = 180 \text{ кг/см}^2.$$

Расчетное нормальное напряжение в шейках (1.45):

$$\sigma_p = \sqrt{\sigma_{ш}^2 + 3\tau_{ш}^2} = \sqrt{732^2 + 3 \cdot 180^2} = 796 \text{ кг/см}^2.$$

Как видно, напряжения изгиба по бочке валков и расчетные нормальные напряжения в шейках не превышают напряжений, допускаемых для стальных валков.

В подтверждение применимости изложенной методики калибровки и для других размеров швеллеров выполнена калибровка швеллера № 5 с задачей в первый фасонный калибр овальной заготовки (табл. 25 и рис. 93) и швеллеров № 20, 30 и 40 с задачей прямоугольной заготовки (табл. 26, 27, 28 и рис. 94, 95 и 96),

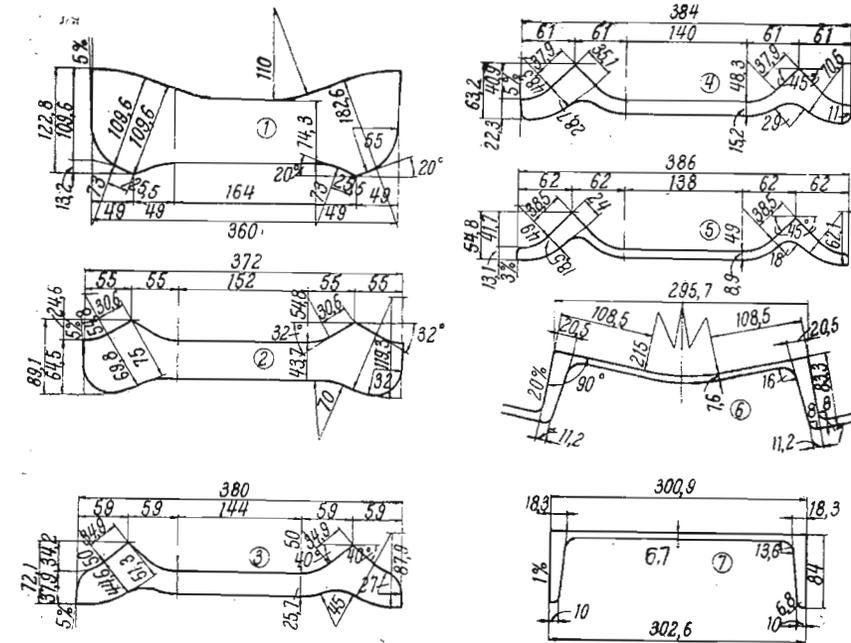


Рис. 95. Шаблоны калибров швеллера № 30

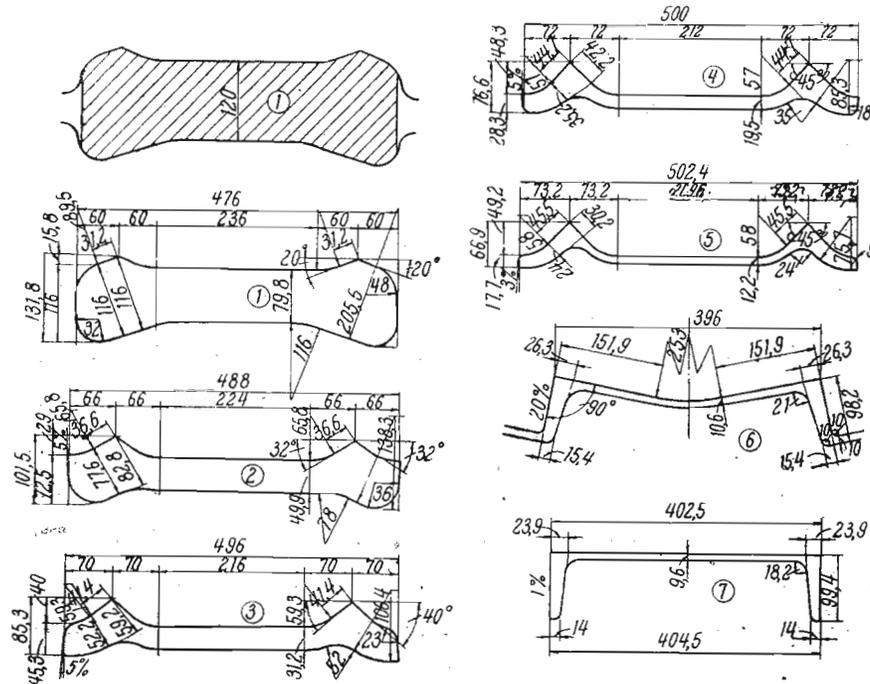


Рис. 96. Шаблоны калибров швеллера № 40

ЛИТЕРАТУРА

1. В. Е. Грум-Гржимайло, Прокатка и калибровка, КУБУЧ, 1933.
2. С. А. Кушакевич, Применение сверхобжатий при прокатке, *Металлург*, 1939, № 10—11.
3. С. И. Губкин, Технологическая деформируемость металлов при обработке давлением, *Известия АН СССР, Отделение технических наук*, 1949, № 8.
4. С. И. Губкин, Метод определения деформируемости, *Известия АН СССР, ОТН*, 1948, № 9.
5. С. И. Губкин, О хрупкости и пластичности, *Заводская лаборатория*, 1948, № 4.
6. И. М. Павлов, К теории определения работы прокатки, *Металлург*, 1932, № 8.
7. А. И. Целиков, Прокатные станы, *Металлургиздат*, 1946.
8. В. М. Врацкий, Исследование расхода энергии при прокатке фасонных профилей, *Сталь*, 1933, № 10 и 11.
9. А. П. Чекарев, Исследование расхода энергии при прокатке фасонных профилей в среднетонносортом стане. Теория и прокатка металлургии, 1936, № 7.
10. С. И. Губкин, Теория обработки металлов давлением, *Металлургиздат*, 1947.
11. С. Экелунд, Некоторые динамические условия прокатки, перевод со шведского. Материалы по теории прокатки, под ред. И. М. Павлова, т. IV, *Металлургиздат*, 1948.
12. Д. И. Старченко, Калибровка валков для прокатки полос и уголков. Теория и прокатка металлургии, 1937, № 7.
13. И. М. Павлов, К вопросу калибровки углового железа, *Металлург*, 1927, № 2.
14. А. П. Виноградов, Калибровка прокатных валков, *ОНТИ*, 1934.
15. А. П. Чекарев, О форме калибров для прокатки углового железа, *Домез*, 1934, № 8.
16. М. Л. Зарошинский, Прокатка стали, *Металлургиздат*, 1948.
17. Сортамент и специализация прокатных станков СССР, 1939.
18. Б. П. Бахтинов, Некоторые вопросы теории прокатки, *Сталь*, 1946, № 4—5.