

Инж.-мех. П. А. ДУНАЕВ.

КАЛИБРОВКА ДВУТАВРОВОЙ БАЛКИ № 25.

Калибровка фасонных профилей представляет большие трудности в сохранении одинаковой деформации металла в отдельных частях калибра.

При калибровках фасонных профилей (двутавр. балки, рельсы, швеллера и т. д.), на практике допускают эти неодинаковые деформации в отдельных частях калибра, что соответствует и различным вытяжкам в частях калибра; последнее ведет к перенапряжению металла в отдельных частях профиля прокатываемой полосы.

Часто эти перенапряжения бывают настолько велики, что металл в более перенапряженных местах профиля не выдерживает их—разрушается, а отсюда увеличивается брак при прокатке, как следствие неправильной калибровки.

Следовательно, при калибровке фасонного профиля должно быть обращено особое внимание на выбор коэффициента вытяжек как в отдельном калибре, так и в отдельных его частях. Коэффициент вытяжки нужно выбирать соответственно понижающейся температуре, т. е. в начале—больше, в конце прокатки—меньше.

Для определения (выбора) коэффициента вытяжки в отдельных калибрах нужно заранее наметить закон его изменения и уже по этому намеченному закону изменения коэффициента вытяжки калибровать заданный профиль.

Для выяснения закона изменения коэффициента вытяжки нами проделаны три примера калибровки двутавровой балки № 25. Пример 1—представляет собою калибровку по принципу Кирхберга, который „намечает“ закон изменения коэффициента вытяжки по закону изменения тангенса—наклона внутренней грани полки.

Пример № 2—представляет из себя калибровку по принципу Тафеля, т. е. без бокового давления в закрытой части калибра, и закон изменения коэффициента вытяжки намечен нами по закону прямой линии.

Пример № 3—представляет нашу калибровку; изменение по калибрам коэффициента вытяжки взято по закону геометрической прогрессии.

Пример № 1—(принцип Кирхберга).

Готовый профиль двутавровой балки № 25 в холодном состоянии имеет размеры (рис. 1):

B — 250 *mm*
 H — 110 „
 T — 9,0 „
 S — 13,6 „

$\operatorname{tg} \alpha = 0,14$ (уклон внутр. грани полки — 14%).

Если принять: температуру конца прокатки $T = 1000^\circ \text{C}$, коэффициент расширения металла при этой температуре $\lambda = 1,015$, то профиль в горячем состоянии будет иметь размеры:

$$B_1 = \lambda B = 253,8 \text{ mm}$$

$$H_1 = \lambda H = 111,6 \text{ "}$$

$$s_1 = \lambda s = 9,2 \text{ "}$$

$$t_1 = \lambda t = 13,8 \text{ "}$$

За площадь сечения профиля (Q) будем считать площадь, ограниченную прямыми линиями (рис. 2).

Для удобства и простоты калибровки площадь профиля разделим на следующие части: а) площадь шейки, которую калибруем, как полосовое железо, б) четыре половины полки, которые калибруем, как закрытые и открытые части калибра (рис. 2).

а) Площадь шейки (q):

$$q_1 = B_1 s_1 = 253,8 \cdot 9,2 = 2335 \text{ mm}^2$$

б) четыре половины полки, площадь каждой из них будет:

$$R_1 = \frac{a_1 + b_1}{2} h_1,$$

где: a_1 — толщина полки у края

b_1 — " " в месте соединения с шейкой

h_1 — высота трапеции (рис. 2).

Трапецию, ограниченную $EFC D$, в дальнейшем будем называть флянцем, и если этот фланец будет прокатываться в закрытой части калибра, то будем называть его „закрытый фланец“ и соответственно в открытой — „открытый фланец“.

h_1 — высота флянца (закрытого и открытого)

$$h_1 = \frac{H_1 - s_2}{2} = \frac{111,6 - 9,2}{2} = 51,2 \text{ mm}$$

$$a_1 = DC = OC \operatorname{tg} \alpha_1 \dots \dots \dots (1)$$

$$b_1 = EF = OE \operatorname{tg} \alpha_1 \dots \dots \dots (2)$$

где:

$$OC = OB - \frac{H_1}{4} = \frac{t}{\operatorname{tg} \alpha_1} - \frac{H}{4} = \frac{13,8}{0,14} - \frac{116,6}{4} = 77,7 \text{ mm}$$

$$OE = X = OC + h = 70,7 + 51,2 = 122 \text{ mm}$$

X — полюсное расстояние, а точка O — полюс (или конструкционная точка).

Тогда:

$$a_1 = (x - h_1) \operatorname{tg} \alpha_1 = (129 - 51,2) 0,14 = 9,9 \text{ mm}$$

$$b_1 = x \cdot \operatorname{tg} \alpha_1 = 122 \cdot 0,14 = 17,0 \text{ mm.}$$

Площадь флянца (трапеции)

$$R_1 = \frac{9,9 + 17,0}{2} \cdot 51,2 = 689 \text{ mm}^2.$$

Полная площадь горячего профиля, или площадь первого калибра Q_1) будет:

$$Q_1 = 2335 + 4 \cdot 689 = 5091 \text{ mm}^2$$

Вытяжку (f) в первом калибре Кирхберг берет равной $\operatorname{tg} \alpha$ (наклона полки), или в процентах = 14%; следовательно, коэффициент вытяжки в первом калибре будет

$$\mu_1 = 1 + \frac{f_1}{100} = 1 + \frac{14}{100} = 1,14.$$

В последующих калибрах Кирхберг находит вытяжку по следующей формуле:

$$f_2 = f_1 \left(1 + \frac{f_1}{100} \right) \dots \dots \dots (3)$$

где: f_2 — вытяжка последующего калибра

f_1 — „ „ предыдущего „

Радиусы закруглений тупых углов берут в следующих соотношениях:

$$r = t; \quad r' = t'$$

$$\rho = 0,5 t; \quad \rho' = 0,5 t'$$

$$V = 0,25 t; \quad V' = 0,25 t',$$

где t'_1 — относятся к закрытой части калибра, а t — к открытой части.

Калибр № 2.

Открытый фланец:

$$h_2 = h_1 + 5 = 51,2 + 5 = 56 \text{ mm}$$

$$R_2 = R_1 \mu_1 = 689 \cdot 1,14 = 786 \text{ mm}^2$$

$$t_2 = \frac{R_2}{h_2} = \frac{786}{56} = 14 \text{ mm}$$

Полюсное расстояние $x = \text{const}$
 tg угла наклона внутренней грани полки будет

$$\operatorname{tg} \alpha_2 = \frac{t_2}{X - 0,5 h_2} = \frac{14}{122 - 0,5 \cdot 56} = 0,15$$

$$a_2 = (x - h_2) \operatorname{tg} \alpha_2 = (122 - 56) 0,15 = 9,9 \text{ мм}$$

$$b_2 = x \cdot \operatorname{tg} \alpha_2 = 122 \cdot 0,15 = 18,3 \text{ мм.}$$

Закрытый флянец:

$$h'_2 = h_1 - 1 = 51,2 - 1 = 50 \text{ мм}$$

$$R'_2 = R_2 = 786 \text{ мм}^2 \text{ *)}$$

$$t'_2 = \frac{R'_2}{h'_2} = \frac{786}{50} = 15,7 \text{ мм}$$

$$\operatorname{tg} \alpha'_2 = \frac{t'_2}{x - 0,5 h'_2} = \frac{15,7}{122 - 0,5 \cdot 50} = 0,18$$

$$d_2 = (x - h'_2) \operatorname{tg} \alpha'_2 = (122 - 50) 0,18 = 12,9 \text{ мм}$$

$$c_2 = x \cdot \operatorname{tg} \alpha'_2 = 122 \cdot 0,18 = 22,0 \text{ мм.}$$

Шейка:

$$\text{Пл. шейки } q_2 = q_1 \cdot \mu_1 = 2335 \cdot 1,14 = 2662 \text{ мм}^2$$

$$B_2 = B_1 - \beta = 253,8 - 1,8 = 252 \text{ мм,}$$

где β — уширение

$$S_2 = \frac{q_2}{B_2} = \frac{2662}{252} = 10,6 \text{ мм.}$$

Полная площадь калибра

$$Q_2 = q_2 + 2(R_2 + R'_2) = 2662 + 2(786 + 796) = 5805 \text{ мм}^2$$

Калибр № 3.

Вытяжка в ‰ по Кирхбергу

$$f_2 = f_1 \left(1 + \frac{f_1}{100} \right) = 14 \left(1 + \frac{14}{100} \right) = 16 ‰.$$

Коэффициент вытяжки:

$$\mu = 1 + \frac{f_2}{100} = 1 + \frac{16}{100} = 1,16.$$

*) Коэффиц. вытяжки во всех частях калибра одинаковый.

Открытый флянец:

$$h_3 = h'_2 + 5 = 50 + 5 = 55 \text{ mm}$$

$$R_3 = R'_2 \mu_2 = 786.1,16 = 912 \text{ mm}^2$$

$$t_3 = \frac{R_3}{h_3} = \frac{912}{55} = 16,6 \text{ mm}$$

$$\operatorname{tg} \alpha_3 = \frac{t_3}{x - 0,5 h_3} = \frac{16,70}{122 - 0,5 \cdot 55} = 0,174$$

$$a_3 = (x - h_3) \operatorname{tg} \alpha_3 = (122 - 55) 0,174 = 16,2 \text{ mm}$$

$$b_3 = x \cdot \operatorname{tg} \alpha_3 = 122 \cdot 0,174 = 21,2.$$

Закрытый флянец:

$$h'_3 = h_2 - 1 = 56 - 1 = 55 \text{ mm}$$

$$R'_3 = R_3 = 912 \text{ „}$$

$$t'_3 = t_3 = 16,6 \text{ „}$$

$$\operatorname{tg} \alpha'_3 = \operatorname{tg} \alpha_3 = 0,174 \text{ „}$$

$$d_3 = a_3 = 16,2 \text{ „}$$

$$c_3 = b_3 = 21,2 \text{ „}$$

Шейка:

$$q_3 = q_5 \mu_2 = 2662.1,16 = 3988 \text{ mm}_2$$

$$B_3 = B_2 - 3 = 252 - 3 = 249 \text{ mm}$$

$$S_3 = \frac{q_3}{B_2} = \frac{3988}{249} = 12,5 \text{ mm.}$$

Полная площадь калибра

$$Q_3 = q_3 + 4 R_3 = 3988 + 4 \cdot 912 = 6736 \text{ mm}^2$$

Калибр № 4.

$$f_3 = f_2 \left(1 + \frac{f_2}{100} \right) = 16 \left(1 + \frac{16}{100} \right) = 19,0/0$$

$$\mu_3 = 1 + \frac{f_3}{190} = 1 + \frac{19}{100} = 1,19$$

Открытый флянец:

$$h_4 = h'_3 + 5 = 55 + 5 = 60 \text{ mm}$$

$$R_4 = R'_3 \mu_3 = 212.1,19 = 1085 \text{ mm}^2$$

$$t_4 = \frac{R_4}{h_4} = \frac{1085}{60} = 18,1 \text{ мм}$$

$$\operatorname{tg} \alpha_4 = \frac{t_4}{x - 0,5 h_4} = \frac{18,1}{122 - 0,5 \cdot 60} = 0,20$$

$$a_4 = (122 - 60) 0,20 = 12,0 \text{ мм}$$

$$b_4 = 122 \cdot 0,20 = 24,4 \text{ мм}$$

Закрытый флянец:

$$h'_4 = h_3 - 1 = 55 - 1 = 54 \text{ мм}$$

$$R'_4 = R_4 = 1085 \text{ мм}^2$$

$$t'_4 = \frac{R'_4}{h_4} = \frac{1085}{54} = 20 \text{ мм}$$

$$\operatorname{tg} \alpha'_4 = \frac{t'_4}{x - 0,5 h'_4} = \frac{20}{122 - 0,5 \cdot 54} = 0,21$$

$$d_4 = (122 - 54) 0,21 = 14,3 \text{ мм}$$

$$c_4 = 122 \cdot 0,21 = 25,6 \text{ мм}$$

Шейка:

$$q_4 = q_3 \mu_3 = 3088 \cdot 1,19 = 3675 \text{ мм}^2$$

$$B_4 = B_3 - 4 = 249 - 4 = 245 \text{ мм}$$

$$S_4 = \frac{q_4}{B_4} = \frac{3675}{245} = 15 \text{ мм}$$

Полная площадь калибра

$$Q_4 = q_4 + 4 R_4 = 3675 + 4 \cdot 1085 = 8015 \text{ мм}^2.$$

Калибр № 5.

Вытяжка

$$f_4 = f_3 \left(1 + \frac{f_3}{100} \right) = 19 \left(1 + \frac{19}{100} \right) = 23\%.$$

$$\text{Кэфф. вытяжки } \mu_4 = 1 + \frac{23}{100} = 1,23.$$

Открытый флянец:

$$h_5 = h'_4 + 5 = 54 + 5 = 59 \text{ мм}$$

$$R_5 = R_4 \mu_4 = 1085 \cdot 1,23 = 1334 \text{ мм}^2$$

$$t_5 = \frac{R_5}{h_5} = \frac{1335}{59} = 22,6 \text{ мм}$$

$$\operatorname{tg} \alpha_5 = \frac{22,6}{122 - 0,5 \cdot 59} = 0,244$$

$$a_5 = (122 - 59) \cdot 0,244 = 15,2 \text{ мм}$$

$$b_5 = 122 \cdot 0,244 = 30,0 \text{ мм}$$

Закрытый флянец:

$$h'_5 = h_4 - 1 = 60 - 1 = 59 \text{ мм}$$

$$R'_5 = R_5 = 1334 \text{ мм}^2$$

$$t'_5 = t_5 = 28,6 \text{ мм}$$

$$\operatorname{tg} \alpha'_5 = \operatorname{tg} \alpha_5 = 0,244$$

$$d_5 = a_5 = 15,2 \text{ мм}$$

$$c_5 = b_5 = 30,0 \text{ „}$$

Шейка:

$$q_5 = q_4 \cdot \nu_4 = 3675 \cdot 1,23 = 4490 \text{ мм}^2$$

$$B_5 = B_4 - 5 = 245 - 5 = 240 \text{ мм}$$

$$S_5 = \frac{q_5}{B_5} = \frac{4490}{240} = 18 \text{ мм}$$

Полная площадь калибра

$$Q_5 = 4499 + 4 \cdot 1334 = 9826 \text{ мм}^2.$$

Калибр № 6.

$$f_5 = f_5 \left(1 + \frac{f_4}{109} \right) = 23 \left(1 + \frac{23}{100} \right) = 28,0\%$$

$$\nu_5 = 1 + \frac{f_5}{100} = 1 + \frac{28}{100} = 1,28$$

Открытый флянец:

$$h_6 = h'_5 + 5 = 59 + 5 = 64 \text{ мм}$$

$$R_6 = R'_5 \cdot \nu_5 = 1335 \cdot 1,28 = 1707 \text{ мм}^2$$

$$t_6 = \frac{R_6}{h_6} = \frac{1707}{64} = 26,5 \text{ мм}$$

$$\operatorname{tg} \alpha_6 = \frac{26,5}{123 - 0,5 \cdot 64} = 0,294$$

$$a_6 = (122 - 64)0,294 = 17,0 \text{ mm}$$

$$b_6 = 122 \cdot 0,294 = 36,0 \text{ mm.}$$

Закрытый флянец:

$$h'_6 = h_5 - 1 = 59 - 1 = 58 \text{ mm}$$

$$R'_6 = R_6 = 1707 \text{ mm}^2$$

$$t'_6 = \frac{R_6}{h'_6} = \frac{1707}{58} = 30,0 \text{ mm}$$

$$\text{tg } \alpha'_6 = \frac{30}{122 - 0,5 \cdot 58} = 0,322$$

$$d_6 = (122 - 58)0,322 = 20,7 \text{ mm}$$

$$c_6 = 122 \cdot 0,322 = 39,2 \text{ mm}$$

Шейка:

$$q_6 = q_5 \mu_5 = 4490 \cdot 1,28 = 5747 \text{ mm}^2$$

$$B_6 = B_5 - 6 = 240 - 6 = 234 \text{ mm}$$

$$S_6 = \frac{q_6}{B_6} = \frac{5747}{234} = 24,5 \text{ mm}$$

Полная площадь калибра

$$Q_6 = 5747 + 4 \cdot 1707 = 12575 \text{ mm}^2.$$

Калибр № 7.

Вытяжка в % %

$$f_6 = f_5 \left(1 + \frac{f_5}{100}\right) = 28 \left(1 + \frac{28}{100}\right) = 36\%$$

$$\mu_6 = 1 + \frac{36}{100} = 1,36$$

Открытый флянец и закрытый — равны:

$$h_7 = h'_6 + 5 = 58 + 5 = 63 \text{ mm}$$

$$R_7 = R \mu_6 = 1707 \cdot 1,36 = 2322 \text{ mm}$$

$$t_7 = \frac{R_7}{h_7} = \frac{2322}{63} = 36,8 \text{ mm}$$

$$\text{tg } \alpha_7 = \frac{36,8}{122 - 0,5 \cdot 63} = 0,40$$

$$b_7 = 122 \cdot 0,4 = 49,0 \text{ mm}$$

$$a_7 = (122 - 63)0,4 = 24,6 \text{ mm.}$$

Шейка:

$$q_7 = q_6 \mu_6 = 5747 \cdot 1,36 = 7846 \text{ mm}^2$$

$$B_7 = B_6 - 8 = 234 - 8 = 226 \text{ mm}$$

$$S_7 = \frac{q_7}{B_7} = \frac{7846}{226} = 34,6 \text{ mm}$$

Площадь калибра

$$Q_7 = 7846 + 4 \cdot 2322 = 17134 \text{ mm}.$$

Калибр № 8.

Для определения вытяжки (f) формула Кирхберга негодна; она применима только до 7-го калибра. Для определения следующего калибра воспользуемся переходными формулами Кирхберга, будем считать закрытую часть равной открытой части калибра

$$a_8 = a_7 + \frac{a_7^2}{200} = 24,6 + \frac{(24,6)^2}{200} = 27,6 \text{ mm}$$

Полюсное расстояние снижаем на 10%, тогда будем иметь:

$$h_8 = h'_7 + 5 = 63 + 5 = 68 \text{ mm}$$

$$x' = 0,9 x = 122 \cdot 0,9 = 110 \text{ „}$$

$$\operatorname{tg} \alpha_8 = \frac{a_8}{x' - h_8} = \frac{27,6}{110 - 68} = 0,64.$$

$$b_8 = x' \operatorname{tg} \alpha_8 = 110 \cdot 0,64 = 70,4 \text{ mm}$$

$$R_8 = \frac{(a_8 + b_8) h_8}{2} = \frac{27,6 + 70,4}{2} \cdot 68 = 3242 \text{ mm}$$

$$\mu_7 = \frac{R_8}{R_7} = \frac{3242}{2322} = 1,40.$$

Шейка:

$$q_8 = q_7 \mu_7 = 7846 \cdot 1,40 = 10984 \text{ mm}^2$$

$$B_8 = B_7 - 10 = 266 - 10 = 216 \text{ mm}$$

$$S_8 = \frac{q_8}{B_8} = \frac{10984}{216} = 50,8 \text{ mm}$$

Полная площадь калибра

$$Q_8 = 10984 + 4 \cdot 3242 = 23952 \text{ mm}^2.$$

Калибр № 9.

Полюсное расстояние еще уменьшаем на 10%:

$$X'' = X' 0,9 = 110 \cdot 0,9 = 99 \text{ mm}$$

$$a_9 = a_8 + \frac{a_8^2}{200} = 27,6 + \frac{(27,6)^2}{200} = 31,0 \text{ mm}$$

$$h_9 = h_8 = 68 \text{ mm}$$

$$\operatorname{tg} \alpha_9 = \frac{a_9}{X'' - h_9} = \frac{31,0}{99 - 68} = 1,00$$

$$b_9 = X'' \operatorname{tg} \alpha_9 = 99 \cdot 1,0 = 99 \text{ mm}$$

$$R_9 = \frac{(a_9 + b_9) h_9}{2} = \frac{31 + 99}{2} \cdot 68 = 4420 \text{ mm}^2$$

$$\mu_8 = \frac{R_9}{R_8} = \frac{3420}{3342} = 1,36.$$

Шейка:

$$q_9 = q_8 \mu_8 = 10984 \cdot 1,36 = 14938 \text{ mm}^2$$

$$B_9 = B_8 - 12 = 216 - 12 = 204 \text{ mm}$$

$$S_9 = \frac{q_9}{B_9} = \frac{14938}{204} = 72 \text{ mm.}$$

Полная площадь калибра

$$Q_9 = 14938 + 4 \cdot 4420 = 32620 \text{ mm}^2$$

Заготовка будет иметь следующие размеры:

$$\text{Высота } H_{\text{заг.}} = 2 h_9 + S_9 + 20 = 2 \cdot 68 + 72 + 20 = 208 \text{ mm.}$$

$$\text{Ширина } B_{\text{заг.}} = B_9 - 14 = 204 - 14 = 190 \text{ mm.}$$

Площадь заготовки

$$Q_{\text{заг.}} = H_{\text{заг.}} \cdot B_{\text{заг.}} = 208 \cdot 190 = 39520 \text{ mm}^2$$

Коэфф. вытяжки в 9-м калибре (разрезном) будет равен:

$$\mu_9 = \frac{Q_{\text{заг.}}}{Q_9} = \frac{39520}{32620} = 1,34.$$

Общий коэфф. вытяжки от заготовки к готовому профилю

$$\mu_{\text{общ.}} = \mu_1 \cdot \mu_2 \cdot \mu_3 \cdot \mu_4 \cdot \mu_5 \cdot \mu_6 \cdot \mu_7 \cdot \mu_8 \cdot \mu_9 = 8,65.$$

Все результаты вычислений сведены в таблице № 1 (стр. 13). По этой таблице построен график (рис. 3) изменения коэфф. вытяжки μ , изменение площади профиля по пропускам (калибрам) (Q), изменение уширения (β), также нанесено изменение бокового обжа-

Таблица № 1. Калибровка балки № 25 (по Кирхбергу).

№ про- пусков	Верхний флянец					Нижний флянец					Шейка					Общее	
	ρ	R	h	t	Δt	ρ	R	h	t	Δt	ρ	q	β	B	S	ρ	Q
	1	1.14	680	51.2	13.6	2.1	1.14	689	51.2	13.6	0.4	1.14	23.35	1.8	253.8	9.2	1.14
2	1.16	786	50	15.7	1.1	1.16	786	56	14.0	2.6	1.16	26.62	3	252	10.6	1.16	5806
3	1.19	912	55	16.6	3.4	1.19	912	55	16.6	1.5	1.19	3088	4	249	12.5	1.19	6736
4	1.23	1085	54	20.0	2.6	1.23	1085	60	18.1	4.5	1.23	3675	5	245	15.0	1.23	8015
5	1.28	1334	59	22.6	7.4	1.28	1334	59	22.6	3.9	1.28	4490	6	240	18.0	1.28	9826
6	1.36	17.07	58	30.0	6.8	1.36	1706	64	26.5	10.3	1.36	5747	8	234	24.5	1.36	12575
7	1.40	2322	63	36.8	1202	1.40	2322	63	36.8	12.2	1.40	7846	10	226	34.5	1.04	17134
8	1.36	3242	62	49.0	24	1.36	3242	68	49.0	240	1.36	10984	12	216	50.8	1.36	23952
9	1.34	4420	68	650	—	1.34	4420	68	65.0	—	1.34	14938	14	204	72	1.34	32620

Заготовка 230 × 190.

тия флянца, как открытого, так и закрытого (Δt). По оси абсцисс отложены пропуски, а по оси ординат соответствующие из вышеперечисленных величины, т. е.: (μ_1, Q_1, β и Δt).

Пример № 2 (принцип Тафеля).

Принцип Тафеля заключается в том, чтобы в закрытой части калибра не давать бокового давления, а отсюда естественно, что коэфф. вытяжки (μ) в закрытой части калибра будет меньше, чем в открытой. Следовательно, по Тафелю необходимо калибровать с различными коэфф. вытяжек в отдельных частях калибра. Калибр № 1, очевидно, будет иметь размеры те же, что и в примере № 1; размеров его вычислять не будем, а перейдем к определению калибра № 2. Вытяжкой в калибре № 1 зададимся в 12% и равной во всех частях калибра, во избежание неодинаковых внутренних напряжений в готовом профиле. Коэфф. вытяжки общий по всему калибру будет:

$$\mu_{\text{общ.}} = \mu_{\text{ш1}} = \mu'_1 = \mu_1 = 1,12,$$

где: $\mu_{\text{ш1}}$ — коэфф. вытяжки шейки

μ_1 — " " открытого флянца

μ'_1 — " " закрытого "

Калибр № 2.

Открытый флянец.

$$R_2 = R_1 \mu_1 = 689 \cdot 1,12 = 772 \text{ мм}^2$$

Открытый флянец калибра № 2 идет в закрытую часть калибра № 1, а в закрытой части не должно быть бокового давления, то имеем:

$$t_2 = t'_1 = 13,8 \text{ мм},$$

$$\text{высота флянца } h_2 = \frac{R_2}{t_2} = \frac{772}{13,8} = 57 \text{ мм},$$

$$\text{tg } \alpha_2 = \frac{13,8}{122 - 0,5 \cdot 56} = 0,147$$

$$\alpha_2 = (122 - 56) 0,147 = 9,7 \text{ мм}$$

$$b_2 = 122 \cdot 0,147 = 17,9 \text{ "}$$

Закрытый флянец:

$$h'_2 = h_1 - 0,2 = 51,2 - 0,2 = 51 \text{ мм}$$

$$R'_2 = R_2 = 772 \text{ мм}^2$$

$$t'_2 = \frac{R'_2}{h'_2} = \frac{772}{51} = 15,2 \text{ мм}$$

$$\text{tg } \alpha_2 = \frac{15,2}{122 - 0,5 \cdot 51} = 0,16$$

$$d_2 = (122 - 51) 0,16 = 11,5 \text{ mm}; C_2 = 122 \cdot 0,16 = 19,5 \text{ mm}.$$

Шейка:

$$q_2 = q_1 \mu_1 = 2335 \cdot 1,12 = 2615 \text{ mm}^2$$

$$B_2 = B_1 - 1,8 = 253,8 - 1,8 = 252 \text{ mm}$$

$$S_2 = \frac{q_2}{B_2} = \frac{2615}{252} = 10,4 \text{ mm}.$$

Полная площадь калибра

$$Q_2 = 2615 + 4 \cdot 772 = 5703 \text{ mm}^2$$

Калибр № 3.

Открытый флянец:

Открытый флянец калибра № 3 получаем из предыдущего калибра (калибр № 2) закрытой его части.

Приращение высоты флянца — n . Определяем на основании разности тангенциальных скоростей*).

Балка № 25 прокатывается на валках со средним диаметром $D = (550 + 650) \text{ mm}$.

Припуск на осадку (n) — (приращен. высоты) по формулам Л. Жеза (рис. 4):

$$r_0 = \sqrt{R_0^2 - 2XR_0} \dots \dots \dots (1)$$

$$n = R_0 - (r_0 + x) \dots \dots \dots (2)$$

где: R_0 — средний радиус валка для шейки

r_0 — " " " " флянца

x — высота трапеции = высоте предшествующего калибра флянца (h'_2)

n — приращение высоты флянца.

$$n = R_0 - \left(\sqrt{R_0^2 - 2h'_2 R_0 + h'^2_2} \right) = 275 - \left(\sqrt{285^2 - 2 \cdot 51 \cdot 275 + 51^2} \right) = 6 \text{ mm}$$

Толщина флянца = толщине закрытого флянца предыдущего калибра, т. е. $t_3 = t_2 = 15,2 \text{ mm}$ (т. к. в закрытом флянце нет бокового давления)

$$h_3 = h'_2 + n = 51 + 6 = 57 \text{ mm}$$

$$\text{tg } \alpha_3 = \frac{15,2}{122 - 0,5 \cdot 57} = 0,163$$

$$b_3 = 122 \cdot 0,163 = 19,8 \text{ mm}$$

$$a_3 = (122 - 57) 0,163 = 10,6 \text{ mm}.$$

*) Л. Жез „Калибровка валков“ изд. 1929 г. стр. 31.

Коэфф. вытяжки в закрытом флянце калибра № 2 будет:

$$\mu'_2 = \frac{R_3}{R'_2} = \frac{866,4}{772} = 1,12.$$

Коэфф. вытяжек в калибрах (пропусках), также и в отдельных частях калибра находим графически (см. рис. 5).

Коэфф. вытяжки в закрытом флянце калибра № 2 получили $\mu'_2 = 1,12$, а максимальный в 8-м калибре берем $\mu'_8 = 1,25$ (закрытый флянец). Изменение коэфф. вытяжки задаем по закону прямой линии; проводим прямую линию—получаем ряд значений коэфф. вытяжки в отдельных калибрах (пропусках).

Открытые флянцы:

Во втором калибре берем $\mu_2 = 1,20$ и максимальный в 8-м $\mu_8 = 1,55$. Проводим прямую линию (рис. 5), получаем ряд значений коэфф. в открытых частях калибров. Для шейки берем среднее арифметическое из открытого и закрытого флянцев, что будет соответствовать общему коэфф. вытяжки для всего калибра; хотя это не совсем точно, но для практики точность достаточная

$$\mu_{ш2} = \frac{\mu_2 + \mu'_2}{2} = \frac{1,20 + 1,12}{2} = 1,16.$$

Итак, из графика рис. 5 получаем таблицу № 2.

Таблица № 2.

№№ п/п.	Открытый флянец	Закрытый флянец	Шейка (среднее арифм.)
1	$\mu_1 = 1,12$	$\mu'_1 = 1,12$	$\mu_{ш1} = \frac{1,12 + 1,12}{2} = 1,12$
2	$\mu_2 = 1,20$	$\mu'_2 = 1,12$	$\mu_{ш2} = \frac{1,20 + 1,12}{2} = 1,16$
3	$\mu_3 = 1,26$	$\mu'_3 = 1,14$	$\mu_{ш3} = \frac{1,26 + 1,14}{2} = 1,20$
4	$\mu_4 = 1,32$	$\mu'_4 = 1,16$	$\mu_{ш4} = \frac{1,32 + 1,16}{2} = 1,24$
5	$\mu_5 = 1,38$	$\mu'_5 = 1,18$	$\mu_{ш5} = \frac{1,38 + 1,18}{2} = 1,28$
6	$\mu_6 = 1,43$	$\mu'_6 = 1,21$	$\mu_{ш6} = \frac{1,43 + 1,25}{2} = 1,32$
7	$\mu_7 = 1,49$	$\mu'_7 = 1,23$	$\mu_{ш7} = \frac{1,48 + 1,21}{2} = 1,36$
8	$\mu_8 = 1,55$	$\mu'_8 = 1,25$	$\mu_{ш8} = \frac{1,56 + 1,25}{2} = 1,40$

Закрытый флянец:

$$h'_3 = h_2 - 1 = 56 - 1 = 55 \text{ мм}$$

$$R'_3 = R_2 = 772.1,20 = 926 \text{ мм}^2$$

$$t'_3 = \frac{R_3}{h'_3} = \frac{926}{55} = 16,9 \text{ мм}$$

$$\text{tg } \alpha'_3 = \frac{16,9}{122 - 0,5 \cdot 55} = 0,18$$

$$d_3 = (122 - 54)0,18 = 12 \text{ мм}$$

$$c_3 = 122 \cdot 0,18 = 22 \text{ мм}$$

Шейка.

$$q_3 = q_2 \psi_{ш2} = 2615.1,16 = 3033 \text{ мм}$$

$$B_3 = B_2 - 3 = 252 - 3 = 249 \text{ мм}$$

$$S_3 = \frac{q_3}{B_3} = \frac{3033}{249} = 12,2 \text{ мм}$$

Полная площадь калибра

$$Q_3 = 3033 + 2,926 + 2.866,4 = 6620 \text{ мм}^2$$

Калибры №№ 4, 5, 6, 7 и 8 вычисляются аналогично примеру № 1, по вычислению коэфф. вытяжек, выписанных в таблице № 2; повторять здесь не будем, а представим результаты вычисления таблицей № 3 „Калибровка балки № 25 по Тафелю“.

Калибр № 9.

Калибр № 9 представляет собой разрезной калибр, где открытый и закрытый флянцы равны между собою по высоте, но площади их различны, вследствие различных коэфф. вытяжек в калибре № 8.

$$h_8 = h'_9 = h'_8 = 68 \text{ мм}$$

$$R_9 = R_8 \psi'_8 = 2150.1,25 = 3940 \text{ мм}^2$$

$$t_9 = \frac{3940}{68} = 58,0 \text{ мм.}$$

Для определения малого основания флянца (a_9) воспользуемся переходной формулой Кирхберга:

$$a_9 = a_8 + \frac{a_8^2}{200} = 28,6 + \frac{(28,6)^2}{200} = 32,6 \text{ мм.}$$

Определим полюсное расстояние (X'). Из подобия тр-ков COD и AOB (рис. 6) имеем:

$$X' = \frac{h_9 b_9}{q_9 - a_9} = \frac{h_9 (2t_9 - a_9)}{2(t_9 - a_9)} = \frac{68(2.58 - 32,6)}{2(58 - 32,6)} = 113,$$

где $b_9 = 2t_9 - a_9 = 2.58 - 32,6 = 83,4 \text{ мм}$.

Это — флянец, идущий в закрытую часть калибра № 8 (в табл. № 3 называется „верхний“). Флянец, идущий в открытую часть калибра, будет иметь размеры:

$$R'_9 = R_8 \mu_8 = 2900 \cdot 1,55 = 4495 \text{ мм}^2.$$

$$t'_9 = \frac{4495}{68} = 66 \text{ мм}$$

$$\operatorname{tg} \alpha'_9 = \frac{66}{113 - 0,5 \cdot 68} = 0,839$$

$$d_9 = (113 - 58) \cdot 0,839 = 37,8 \text{ мм}$$

$$c_9 = 113 \cdot 0,839 = 94,8 \text{ мм}.$$

Шейка:

$$q_9 = q_8 \cdot \mu_{ш8} = 10380 \cdot 1,40 = 14540 \text{ мм}^2$$

$$B_9 = B_8 - 13 = 216 - 12 = 204 \quad "$$

$$S_9 = \frac{q_9}{B_9} \frac{14540}{204} = 70 \text{ мм}$$

Полная площадь калибра № 9.

$$Q_9 = 14540 + 2(3940 + 4495) = 31410 \text{ мм}^2.$$

Заготовка для данной балки № 25 будет иметь следующие размеры:

$$\text{Высота } H_{заг.} = 2h_9 + S_9 + 15 = 2 \cdot 68 + 70 + 15 = 220 \text{ мм}.$$

$$\text{Ширина заготовки, если примем уширение равным } = 14 \text{ мм}.$$

$$B_{заг.} = B_9 - \beta = 204 - 14 = 190 \text{ мм}.$$

Площадь заготовки:

$$Q_{заг.} = H_{заг.} \cdot B_{заг.} = 220 \cdot 188 = 41800 \text{ мм}^2.$$

Коэфф. вытяжки в разрезном калибре

$$\mu_9 = \frac{Q_{заг.}}{Q_9} = \frac{41800}{31410} = 1,33.$$

По таблице № 3 строим график рис. 5, где нанесены изменения по пропускам: $Q, \mu, \mu', \mu_{ш} = \mu_{общ.}, \Delta t$ и β .

Таблица № 3. Калибровка балки № 25 (по Тафелю).

№ про- пусков	Верхний флянец				Нижний флянец				Шейка				Общее				
	ρ	R	h	t	Δt	μ	R	h	t	Δt	ρ_m	q	B	S	β	ρ	Q
	1	1.12	689	51.2	13.8	0.4	1.12	689	51.2	13.8	0	1.12	2335	258.8	9.4	1.8	1.12
2	1.12	772	51	15.2	0	1.20	772	56	13.8	3.1	1.16	2615	252	10.4	3	1.16	5703
3	1.26	866	57	15.2	4.3	1.14	926	55	16.9	0	1.20	3033	249	12.2	4	1.20	6620
4	1.16	1092	56	19.5	0.5	1.32	1056	61	16.9	6.6	1.24	3640	245	14.9	5	1.24	7934
5	1.38	1265	63	20.0	8.3	1.18	1365	60	23.5	1.0	1.28	4514	240	18.8	6	1.28	9840
6	1.21	1750	62	28.3	2.5	1.43	1650	67	25.5	11.3	1.32	5780	234	24.8	8	1.32	12580
7	1.49	2115	69	30.8	15.6	1.23	2360	66	35.8	3.2	1.36	7630	226	33.8	10	1.36	16580
8	1.25	3150	68	46.4	11.6	1.55	2900	74	39.0	27	1.40	10380	216	48	12	1.40	22480
9	1.33	3940	68	58	—	1.33	4450	68	66	—	1.33	14540	204	70	14	1.33	31410

Заготовка 220 × 190,

Пример № 3.

В предыдущих примерах были следующие недостатки с выбором коэффициента вытяжек: в примере № 1 мы определяли коэфф. вытяжек по пропускам по формулам Кирхберга, которые дают подходящие результаты только в шести калибрах, а в остальных калибрах приходится определять другими путями; при том этот метод определения вытяжек по калибрам не совсем удобен, ибо полученное число приходится округлять, вследствие чего в последних калибрах (пропусках) сильно повышается вытяжка. В примере № 2 коэфф. вытяжек различны в отдельных частях калибра, что ведет к неравномерному напряжению металла по сечению профиля при прокатке.

Мы предлагаем определять коэффициенты вытяжек по пропускам по закону геометрической прогрессии. Здесь нужно знать только коэфф. вытяжки в 1-м калибре и в том, до которого мы желаем увеличивать коэффициенты вытяжек по закону геометрической прогрессии (до 8-го включительно), и еще общий коэффициент до данного калибра (8-го калибра). Особенно это имеет большое значение, когда нам требуется получить заготовку для данного профиля определенных размеров.

В данном примере выполним калибровку по коэфф. вытяжек, изменяющимся в отдельных калибрах по закону геометрической прогрессии.

В предыдущих примерах получили заготовку сечением $Q_{заг.} = 4370 \text{ мм}^2$ и общий коэффициент вытяжки:

$$\mu_{общ.} = \frac{Q_{заг.}}{Q_1} = \frac{43700}{5000} = 8,6.$$

Здесь будем придерживаться этих величин, чтобы иметь полную аналогию с предыдущими примерами, с этой же целью рассматривается один и тот же номер профиля во всех трех примерах.

В разрезном калибре (калибр № 9) рекомендуется брать малые коэфф. вытяжек, чтобы хорошо обеспечить заполнение калибра. Ориентировочно примем: $\mu_9 = 1,20$

$$\mu_1 = 1,14.$$

Тогда общий до 8-го калибра (включит.) будет:

$$\mu_{общ.8} = \frac{\mu_{общ.}}{\mu_9} = \frac{8,60}{1,20} = 7,10.$$

Пользуясь формулой геометрической прогрессии, определим коэфф. вытяжек во всех калибрах (пропусках):

$$\mu_{общ.n} = \left(\mu_1 \cdot q_0^{\frac{n-1}{2}} \right) \dots \dots \dots (1)$$

где: $\mu_{общ.n}$ — общий коэфф. вытяжки до n -го калибра (включ.)

μ_1 — коэфф. вытяжки в первом калибре

n — число пропусков (калибров)
 q_0 — разность геометрической прогрессии.

Из формулы (1) определим разность геометрической прогрессии (q_0)

$$\lg q_0 = \frac{2(\lg \mu_{\text{общ.}n} - n \lg \mu_1)}{n(n-1)} \dots \dots \dots (2)$$

n -й член геометрической прогрессии:

$$\mu_n = \mu_1 \cdot q_0^{n-1} \dots \dots \dots (3)$$

По формуле (2) определим разность (q_0) для заданного примера:

$$\lg q_0 = \frac{2(\lg 7,10 - 8 \lg 1,14)}{8(8-1)} = 0,0144.$$

По формуле (3) определим коэффициенты вытяжек по пропускам (калибрам) по формуле (3):

$$\lg \mu_n = \lg \mu_1 + (n-1) \lg q_0.$$

По этому выражению вычисленные коэффициенты по пропускам будем иметь:

1-й пропуск	$\mu_1 = 1,14$	
2-й	" $\mu_2 = 1,18$	
3-й	" $\mu_3 = 1,22$	
4-й	" $\mu_4 = 1,26$	
5-й	" $\mu_5 = 1,30$	$\mu_{\text{общ.}} = 8,60$
9-й	" $\mu_6 = 1,34$	
7-й	" $\mu_7 = 1,39$	
8-й	" $\mu_8 = 1,43$	
9-й	" $\mu_9 = 1,20$	

По этим коэффициентам рассчитываются калибры. Вычисление размеров калибра производится так же, как и в примере № 1. Результаты вычислений сведены в таблицу № 4, само же вычисление нами выпущено, во избежание повторения того, что проделано в примере № 1. Калибры № 1 и 2 будут совершенно такими же, как и в примере № 1, но калибры № 3, 4, 5, 6, 7 и 8 будут отличаться от калибров примера № 1, ввиду отличительных коэфф. вытяжек (смотри таблицу № 4). Здесь мы вычислим размеры калибра № 9 (разрезного), т. к. он необходим для проверки его на заполнение при разрезе заготовки.

Калибр № 9.

Здесь открытый и закрытый флянцы равны между собой

$$h_9 = h_8 + 5 = 62 + 5 = 67 \text{ mm}$$

$$R_9 = R'_8 \cdot \mu_8 = 3440 \cdot 1,43 = 4910 \text{ mm}^2$$

$$t_9 = \frac{R_9}{h_9} = \frac{4910}{67} = 73 \text{ mm.}$$

Полюсное расстояние увеличиваем на 10%, чтобы иметь острее
разрезку:

$$x' = x \cdot 1,10 = 122 \cdot 1,10 = 134 \text{ mm.}$$

$$\operatorname{tg} \alpha_9 = \frac{73}{1,34 - 0,5 \cdot 67} = 0,72$$

$$b_9 = 1,34 \cdot 0,75 = 965 \text{ mm}$$

$$a_9 = (134 - 67) \cdot 0,72 = 48,0 \text{ mm}$$

Шейка:

$$q_9 = q_8 \cdot \mu_8 = 11410 \cdot 1,47 = 16320 \text{ mm}^2$$

$$B_9 = B_8 - 12 = 216 - 12 = 204 \text{ mm}$$

$$S_9 = \frac{q_9}{h_9} = \frac{16320}{204} = 80 \text{ mm.}$$

Полная площадь калибра

$$Q_9 = 16320 + 4 \cdot 4919 = 35960 \text{ mm}^2.$$

Заготовка для данной балки будет иметь следующие размеры:

Ширина заготовки $B_{\text{заг.}} = B_9 - \beta = 204 - 14 = 190 \text{ mm.}$

Высота калибра № 9 $H_9 = 2h_9 + S_9 = 2,67 + 80 = 214 \text{ mm.}$

Высота заготовки определится из условий заполнения разрезного
калибра по способу Ekelund'a*):

$$H_{\text{заг.}} = 4F_4 \left(\frac{1}{h_4} - \frac{B_{\text{заг.}}}{Q_9} \right) + h_4 \dots \dots \dots$$

где $H_{\text{заг.}}$ — высота заготовки, которая должна заполнить калибр

$B_{\text{заг.}}$ — ширина заготовки

Q_9 — площадь сечения калибра

F_4 — площадка калибра, наиболее подверженная деформации
(см. рис. 7, заштрихованная площадка)

h_4 — средняя высота заштрихованной площадки на рис. 7.

Если площадь калибра разделим на его ширину, то получим
высоту h_a , и эта средняя высота разделит калибр на зоны, из ко-
торых две крайние зоны будут менее подвержены деформации, а
средняя зона будет подвержена максимальной деформации, площадь
которой обозначена F_4 .

Площадь F_4 вычисляем графически и получаем $F_4 = 9300 \text{ mm}^2$,
ширина $q_4 = 80 \text{ mm}$ и максимальная высота $h_a = 176 \text{ mm}$.

Следовательно, средняя высота площади (заштрихованной на
рис. 7) будет:

$$h_4 = \frac{F_4}{b_4} = \frac{9600}{80} = 120 \text{ mm.}$$

Подставляя все найденные величины в формулу Ekelund'a найдем

$$H_{\text{заг.}} = 4 \cdot 9600 \left(\frac{1}{120} - \frac{190}{35960} \right) + 129 \cong 235 \text{ mm.}$$

*) См. журнал „Домез“ 1930 г. № 4 реферат статьи W. Tafel и Wegener
„Das Füllen von Kalibern“. St. u. Eis. 1930 г. № 5.

Таблица № 4. Калибровка балки № 25 (прим. № 3).

№ про- пусков	Нижний флянец				Верхний флянец				Ш е й к а				Общее				
	μ	R	h	t	Δt	μ	R	h	t	Δt	μ	q	B	S	β	μ	Q
1	1.14	689	51.2	13.8	1.9	1.14	189	51.2	13.8	0.2	1.14	2335	253.8	9.2	1.8	1.14	5091
2	1.18	786	50	15.7	1.1	1.18	786	56	14.0	2.8	1.18	2662	252	10.6	3	1.18	5806
3	1.22	928	55	16.8	4.0	1.22	828	55	16.8	2.0	1.22	3143	249	12.6	4	1.22	6855
4	1.26	1130	54	20.8	3.4	1.26	1130	60	18.8	5.4	1.26	3840	245	15.7	5	1.26	8360
5	1.30	1425	59	24.2	7.7	1.30	1425	59	24.2	4.8	1.30	4740	240	20	6	1.30	10440
6	1.34	1852	58	31.9	7.5	1.34	1852	65	29.4	10.4	1.34	6150	234	26	8	1.34	13560
7	1.38	2485	63	39.4	16.1	1.385	2485	63	39.4	11.1	1.385	8250	226	36	10	1.380	18190
8	1.43	3440	62	55.5	16.5	1.43	3440	68	50.5	21.5	1.43	11410	216	52.8	12	1.43	25170
9	1.24	4860	67	73	--	1.24	4860	67	73	--	1.24	16720	204	80	15	1.24	35960

Заготовка 235 × 190.

Площадь заготовки получаем:

$$Q_{\text{заг.}} = H_{\text{заг.}} \cdot B_{\text{заг.}} = 235 \cdot 190 = 44650 \text{ мм.}$$

Коэффициент вытяжки в разрезном калибре получится:

$$\mu_9 = \frac{Q_{\text{заг.}}}{Q_9} = \frac{44650}{35940} = 1,24.$$

$$\mu_{\text{общ.-0}} = \frac{Q_{\text{заг.}}}{Q_1} = \frac{44650}{5090} = 8,77.$$

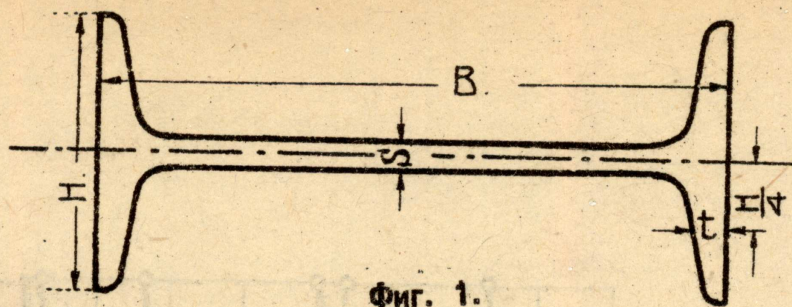
Получили общий коэфф. вытяжки немного больше, чем задавались, ибо бывает очень трудно подойти к размерам заготовки от разрезного ручья, при сохранении принципа заполнения калибра при разрезке болванки.

Если при разрезке болванки получилось бы незаполнение разрезного калибра, то это незаполнение может хронически переходить от калибра в калибр и повлиять на готовый профиль, т. е. готовый профиль может выйти с невыполненными краями у полок.

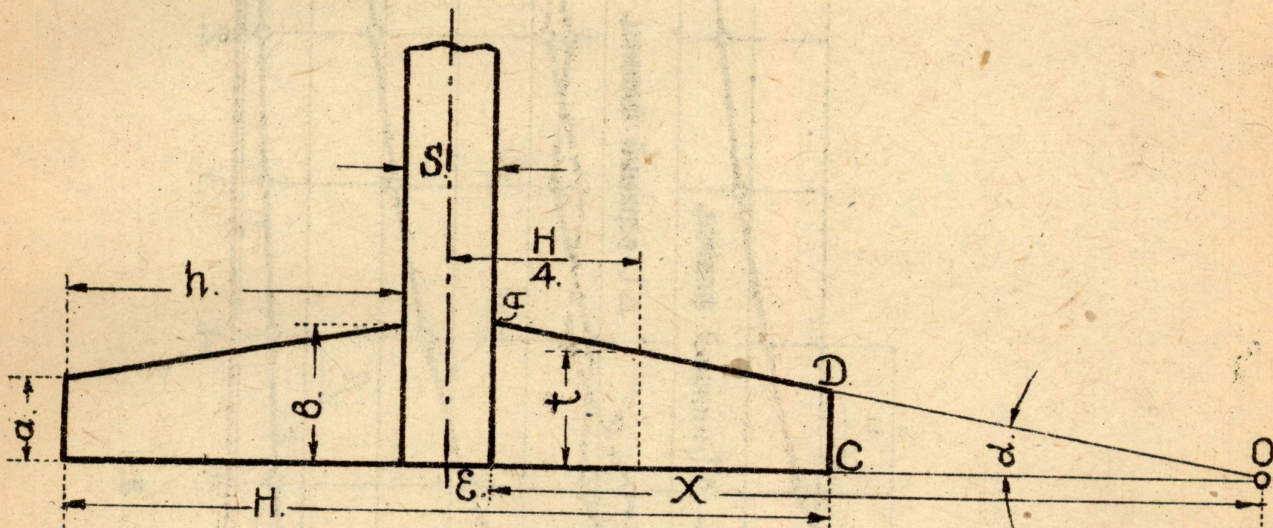
Результаты вычислений сведены в таблицу № 4 и по этой таблице построены кривые (рис. 8) изменения по пропускам $Q, \beta, \Delta t$ и μ .

SUMMARY.

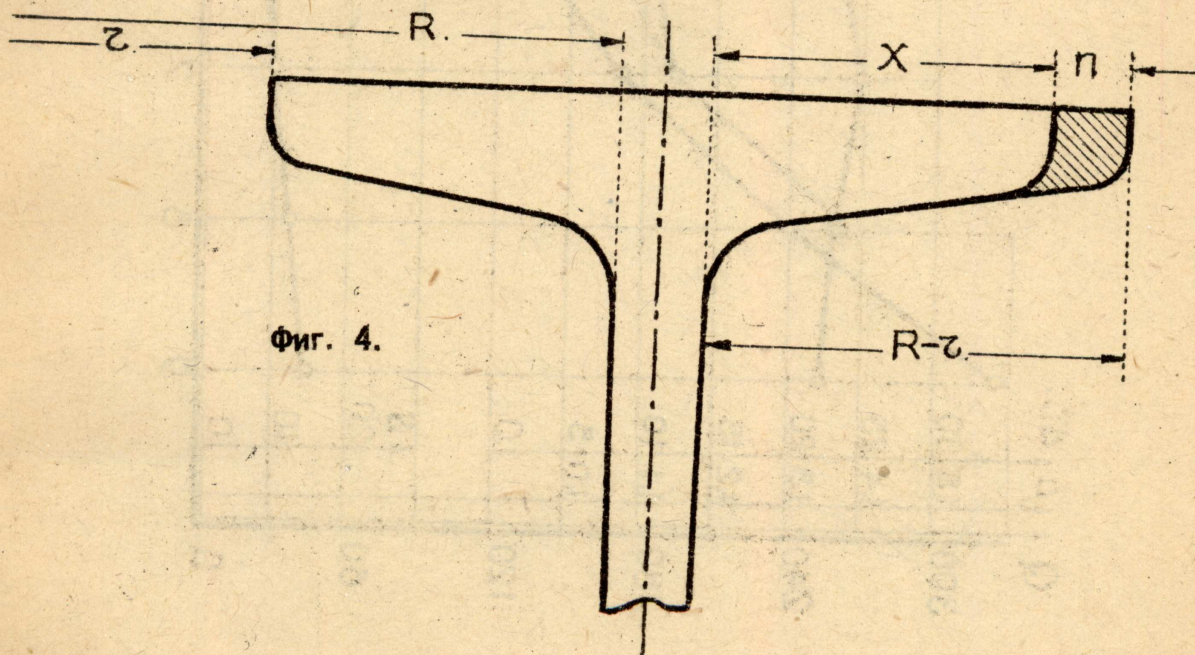
This work represents a theoretical study on the calibration of H-girders and especially on the calculation of coefficients of draught. The advantage of the method of Kirchberg for gauging H-girders consists in even draughts in all parts of the roll-groove and in the consequent absence of unequally strained in the section of the H-gider. But this method has a defect with regard to the calculation of coefficients of draught, the formulae of Kirchberg permitting to determine the coefficient of draught only as far as the 7 draught but failing farther. The good side of the method of gauging by the principle of Tafel consists in the absence of the lateral stress in the closed part of the roll-groove, thus increasing the durability of great rolls, but this method has also a great defect, the coefficients of draughts being various in different parts of the roll-groove. This leads to different strains of the metal along the section of the rolled bar. The calculation of coefficients of draught in roll-grooves must certainly be submitted to some law with regard to the fall of temperature of the rolled bar. The practice shows that coefficients of draught are selected arbitrarily, their alteration by passes ranging in broad limits. This fact leads to an unequal wear of roll-groove and to the consequent rapid wear of the roll. Our gauging, example № 3, gives the law of changes of coefficients of draught by passes according a geometric progression, the difference of which must be calculated depending on the fall of temperature in the rolled bar and depending on the number of passes. The coefficients of draught in roll grooves will consequently diminish with the fall of temperature and this will lead to a rational exploitation of rolls and to an proportional gauging of H-girders.



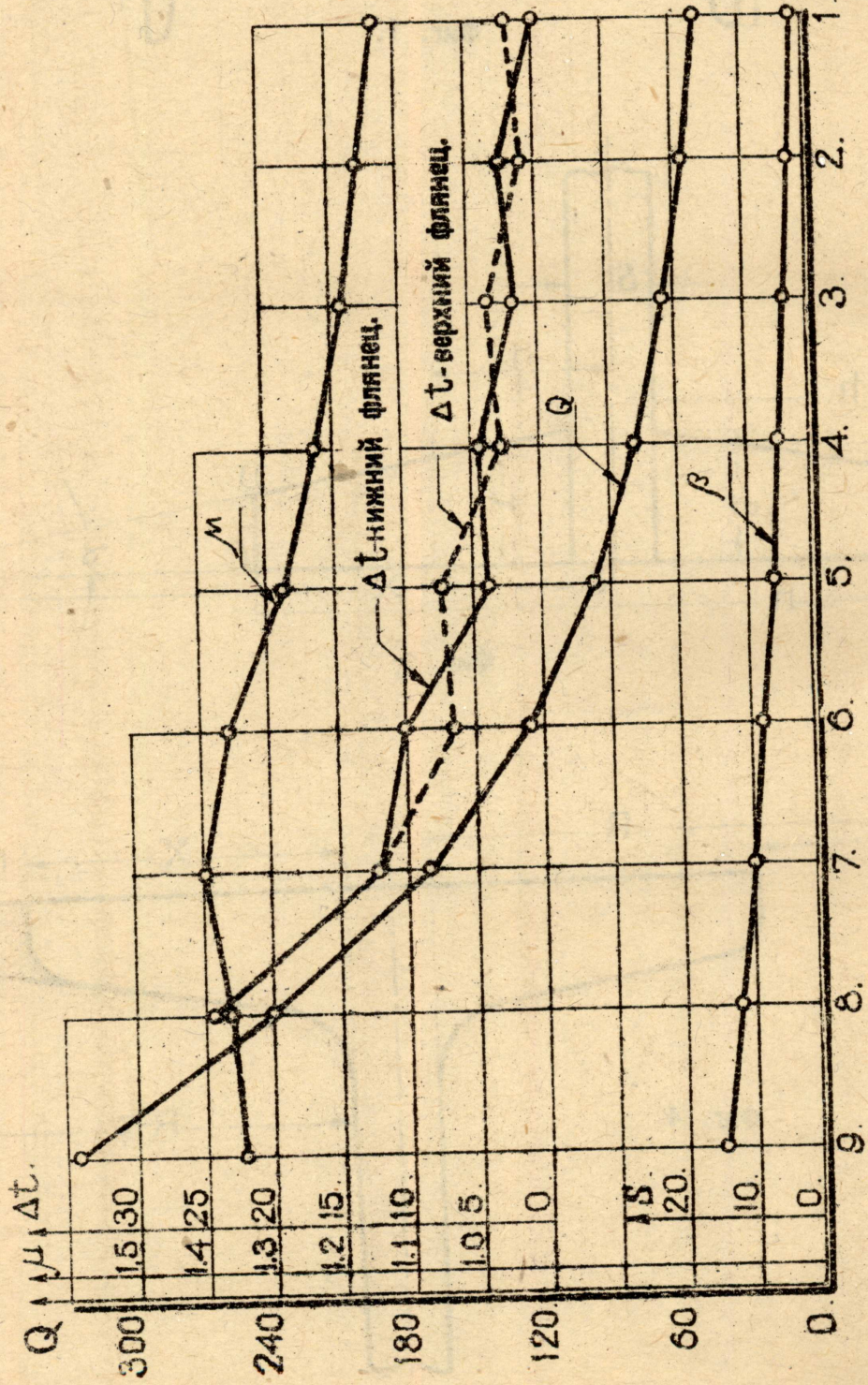
Фиг. 1.



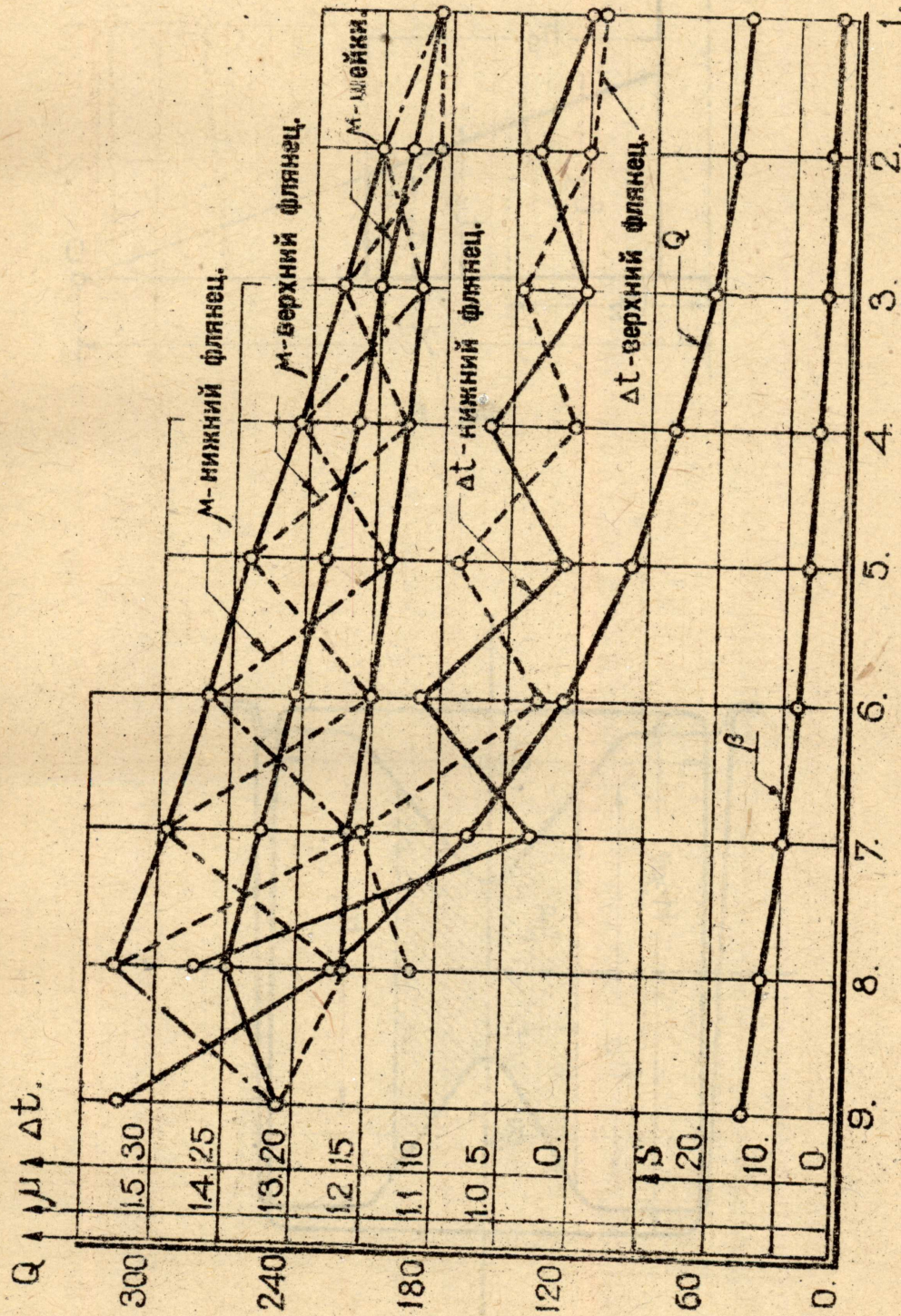
Фиг. 2.



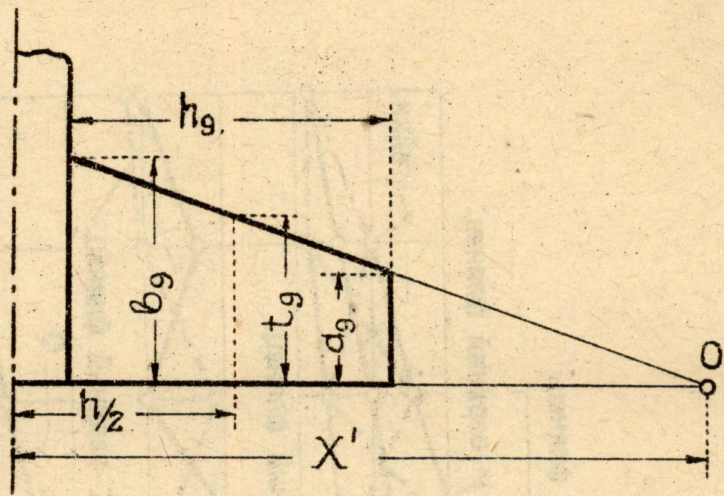
Фиг. 4.



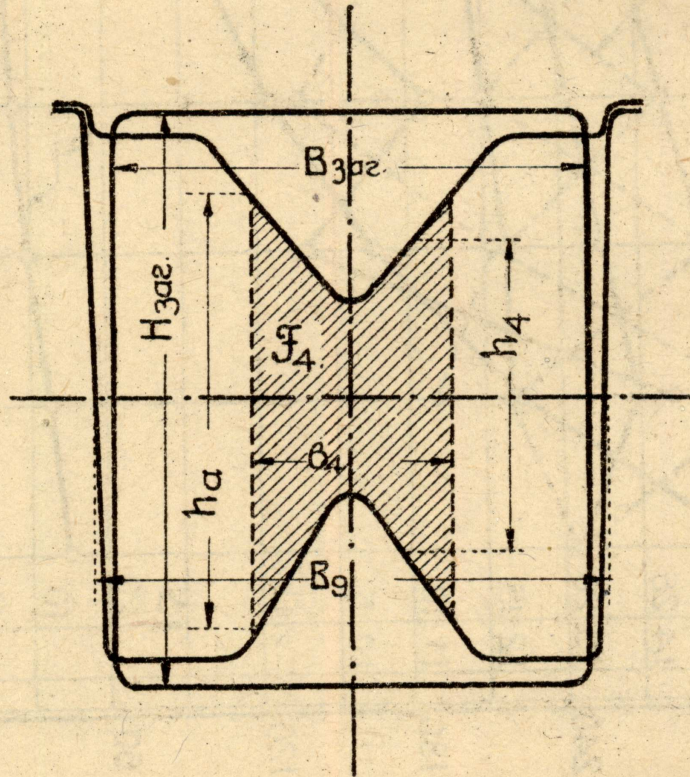
Фиг. 3.



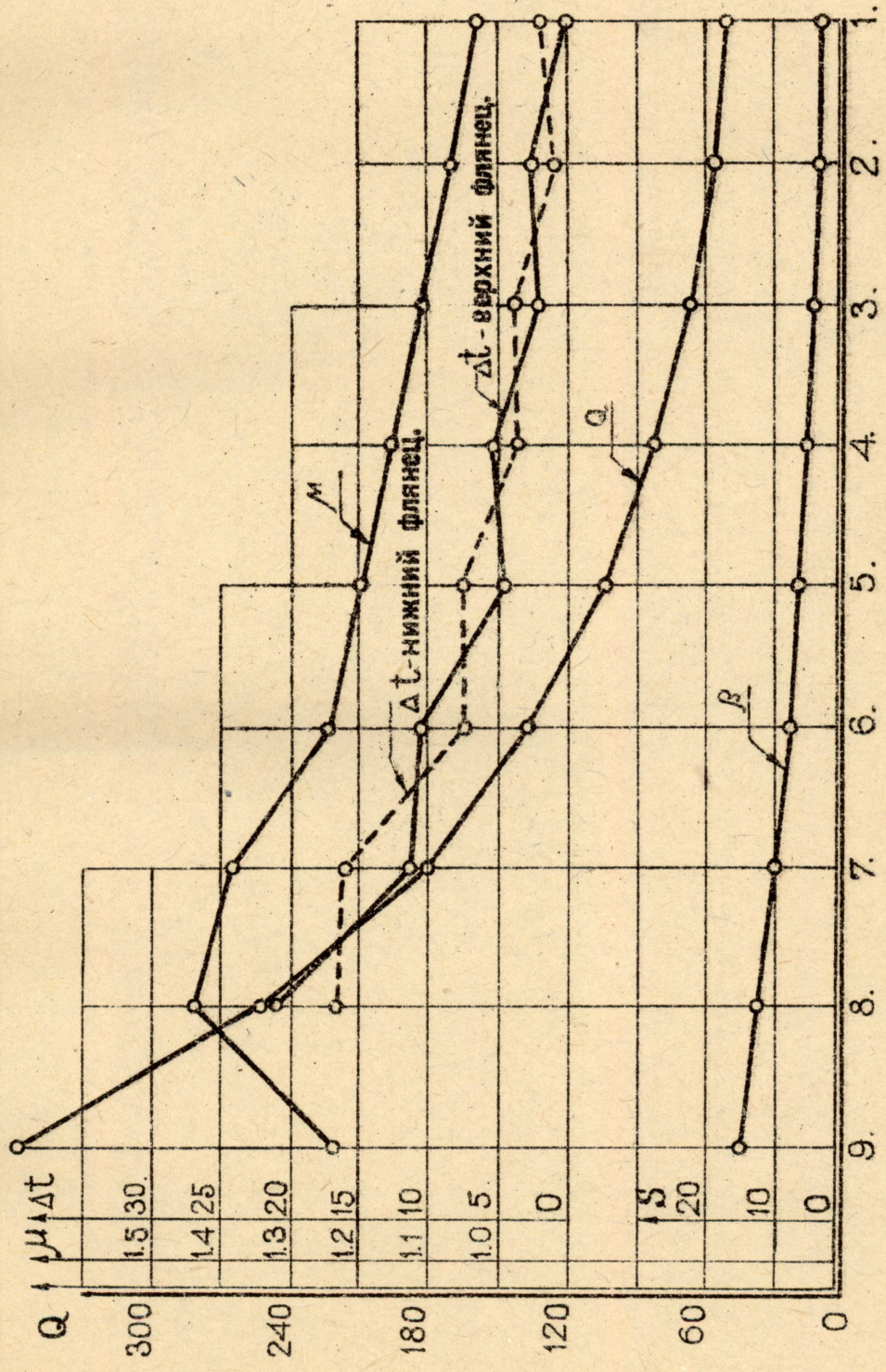
Фиг. 5.



Фиг. 6.



Фиг. 7.



Фиг. 8.