

Министерство образования и науки Российской Федерации
ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого
Президента России Б.Н.Ельцина»
Институт Новых Материалов и Технологий
Кафедра «Металлургические и роторные машины»

Практическая работа №1
«Расчёт таблицы прокатки»

Преподаватель
Студент
Группа

Федулов А. А.
Гладышев К. А.
НМТ – 490509

Екатеринбург
2023

Оглавление

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ	3
ВВЕДЕНИЕ	4
РАЗМЕРЫ ТРУБЫ В ХОЛОДНОМ СОСТОЯНИИ	5
РАЗМЕРЫ ТРУБЫ В ГОРЯЧЕМ СОСТОЯНИИ.....	6
РАЗМЕРЫ ТРУБЫ В КАЛИБРОВОЧНОМ СТАНЕ	7
РАЗМЕР ТРУБЫ ПРИ ОБКАТКЕ (РИЛЛИНГОВАНИИ).	9
РАЗМЕРЫ ТРУБЫ В АВТОМАТИЧЕСКОМ СТАНЕ.....	10
РАЗМЕРЫ ЗАГОТОВКИ.....	12

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

Наименование	Значение
ТПА	220
Заготовка	непрерывнолитая
Конструкция	новая
Температура калибровки, °C	950
Материал	Сталь 20
Типоразмер, мм	146x7
Количество клетей, шт	12
Точность	повышенная

ВВЕДЕНИЕ

Трубопрокатные агрегаты с автоматическим станом и станами тандем относятся к числу наиболее распространенных для производства бесшовных горячекатаных труб.

В соответствии с сортаментом делятся на:

1. малые агрегаты 140 для прокатки труб диаметром 30–159 с толщиной стенки 3,0–40 мм (минимальный диаметр определяется возможностями редуционного стана);
2. средние трубопрокатные агрегаты типа 220 и 250 – для производства труб диаметром 102–245 с толщиной стенки 3,5–50 (при наличии редуционных станов диапазон прокатываемых труб расширяется до минимального диаметра 60 мм);
3. большие трубопрокатные агрегаты 350, 400, специализирующиеся на производстве труб диаметром 127–426 с толщиной стенки 4–60 мм (в составе отсутствуют редуционные станы).

В нашем случае это средний трубопрокатный агрегат ТПА – 220

Таблицы прокатки рассчитывают, как правило, против хода технологического процесса, начиная с заданных размеров трубы, что позволяет определить размеры необходимой исходной заготовки. Учитывая возможность оборудования, калибровку технологического инструмента, сортамент труб, химический состав деформируемых сталей, температуру прокатки и т. д., устанавливают режимы на каждом из станов агрегата и определяют размеры изделия на каждой стадии технологического процесса. Полученный размер заготовки округляется до ближайшего стандартного значения и вносят соответствующие коррективы в настройку прошивного стана.

РАЗМЕРЫ ТРУБЫ В ХОЛОДНОМ СОСТОЯНИИ

При расчете таблицы прокатки рекомендуется учитывать допускаемые отклонения размеров труб с целью получения готовой продукции более точных размеров. При несимметричных допусках размеры готовой трубы принимают, исходя из условий равновероятности отклонений (при симметричном – равны номинальным):

$$D_0 = \left(1 + \frac{0.5((+\Delta D\%) + (-\Delta D\%))}{100} \right) D$$

Где: D – номинальный диаметр готовой трубы в холодном состоянии;

D_0 – наружный диаметр трубы в холодном состоянии с учетом отклонений их по допускам;

$+\Delta D\%$, $-\Delta D\%$ – предельные отклонения по наружному диаметру

По [1; стр. 7; табл. 2.] принимаем $\Delta D\%$ равным $\pm 0,8\%$, тогда:

$$D_0 = \left(1 + \frac{0.5(0,8 + (-0,8))}{100} \right) \cdot 146 = 146 \text{ мм.}$$

$$S_0 = \left(1 + \frac{0.5((+\Delta S\%) + (-\Delta S\%))}{100} \right) S$$

Где: S – номинальная толщина стенки готовой трубы в холодном состоянии;

S_0 – толщина стенки в холодном состоянии с учетом отклонений их по допускам;

$+\Delta S\%$, $-\Delta S\%$ – предельные отклонения по толщине стенки.

По [1; стр. 8; табл. 3.] принимаем $\Delta S\%$ равным $\pm 12,5\%$, тогда:

$$S_0 = \left(1 + \frac{0.5((12,5) + (-12,5))}{100} \right) \cdot 7 = 7 \text{ мм}$$

РАЗМЕРЫ ТРУБЫ В ГОРЯЧЕМ СОСТОЯНИИ

Наружный диаметр вычисляется по следующей формуле:

$$D_k = D_0(1 + \alpha t)$$

Где: α – коэффициент линейного расширения металла трубы, для стали в диапазоне температур от 0° до 1050°C $\alpha = (13.5 \dots 17.5) \cdot 10^{-6}$;

t – температура трубы после калибровочного стана, $t = 950^\circ\text{C}$.

В соответствии с условием задания $t = 950^\circ\text{C}$ коэффициент линейного расширения α примем равным $15,5 \cdot 10^{-6}$ по [5; стр. 122; табл. 9.5.].

Примем $\alpha = 15,5 \cdot 10^{-6}$, тогда:

$$D_k = 146 \cdot (1 + 15,5 \cdot 10^{-6} \cdot 950) = 148.150 \text{ мм}$$

Округлим $D_k = 148 \text{ мм}$

Толщина стенки обычно равна толщине стенки готовой трубы:

$$S_k = S_0 = 7 \text{ мм}$$

РАЗМЕРЫ ТРУБЫ В КАЛИБРОВОЧНОМ СТАНЕ

Общая величина редуцирования вычисляется по следующей формуле:

$$\Delta D_k = 2(m - 1)$$

Где: m – количество клеток калибровочного (редукционного стана), $m = 12$

$$\Delta D_k = 2 \cdot (12 - 1) = 22 \text{ мм}$$

Наружный диаметр трубы после риллинг-стана (обкатного):

$$D_p = D_k + \Delta D_k = 148 + 22 = 170 \text{ мм}$$

Величина редуцирования ΔD_{ki} в каждой клетки и размер калибра можно определить по следующим формулам:

$$\Delta D_{km} = (0.005 \dots 0.0015)D_k;$$

$$\Delta D_{k(m-1)} = (0.001 \dots 0.03)D_{k(m-1)};$$

$$\Delta D_{ki} = (0.01 \dots 0.03)D_{k(i+1)};$$

$$D_{k(m-1)} = D_k + \Delta D_{km};$$

$$D_{ki} = D_{k(i+1)} + \Delta D_{k(i+1)}.$$

Величины редуцирования ΔD_{ki} и диаметры D_{ki} с учетом округления представлены в табл. 1.

Табл. 1. Величины редуцирования ΔD_{ki} и диаметры D_{ki}

Величина	Размер, мм	Величина	Размер, мм	Величина	Размер, мм
ΔD_{k12}	0,74	ΔD_{k4}	3,12	D_{k8}	152
ΔD_{k11}	0,149	ΔD_{k3}	3,2	D_{k7}	153
ΔD_{k10}	1,49	ΔD_{k2}	3,26	D_{k6}	155
ΔD_{k9}	1,49	ΔD_{k1}	1,66	D_{k5}	156
ΔD_{k8}	1,51	D_{k12}	148	D_{k4}	160
ΔD_{k7}	1,52	D_{k11}	149	D_{k3}	163
ΔD_{k6}	1,53	D_{k10}	149	D_{k2}	166
ΔD_{k5}	3,1	D_{k9}	151	D_{k1}	169

Толщину стенки трубы перед входом в калибровочный стан определяют по формулам А. З. Глейберга:

- При $S_k < 15$ мм $S_p = S_k \left(1 - 0.0044(D_p - D_k) \right)$;
- При $S_k > 15$ мм $S_p = S_k - 0.0671(D_p - D_k)$.

В нашем случае $S_k = 7$ мм, следовательно:

$$S_p = 7 \cdot (1 - 0.0044(170 - 148)) = 6.327 \text{ мм}$$

Округлим значение $S_p = 6.3$ мм.

РАЗМЕР ТРУБЫ ПРИ ОБКАТКЕ (РИЛЛИНГОВАНИИ).

Обкатку применяют для устранения рисок, овальности и уменьшения разностенности труб. При этом происходит поперечная раскатка стенки трубы, ее утонение на 5–15%, устранение овальности, что сопровождается увеличением («подъемом») диаметра трубы $+ \Delta D_p$

Диаметр оправки δ_p определяют с учетом значения «подъема» диаметра ΔD_p . Он должен быть больше внутреннего диаметра трубы d_0 после автоматического стана на величину Δ_p :

$$\delta_p = (D_a - 2S_a) + \Delta_p$$

Где: D_a – диаметр трубы после раскатки в автоматическом стане:

$$D_a = D_p - \Delta D_p$$

$\Delta D_p = 9$ мм [2; стр. 281; табл. 12.].

$$D_a = 170 - 9 = 161 \text{ мм}$$

$$\Delta_p = (0,3 \div 0,5) \Delta D_p = 0,3 \cdot 9 = 2.7 \text{ мм}$$

S_a – толщина стенки трубы после раскатки на автоматическом стане:

$$S_a = S_0 + \Delta S_p \pm \Delta S_k \approx S_p + (0.05 \dots 0.15) S_0 = 6.3 + 0,15 \cdot 7 = 7.35 \text{ мм}$$

$$\delta_p = (D_a - 2S_a) + \Delta_p = (161 - 2 \cdot 7.35) + 2.7 = 149 \text{ мм}$$

РАЗМЕРЫ ТРУБЫ В АВТОМАТИЧЕСКОМ СТАНЕ

Прокатка на автоматическом стане осуществляется в два прохода независимо от толщины стенки трубы.

Диаметр оправки для второго прохода в автоматическом стане δ_a^{II} равен внутреннему диаметру трубы d_a :

$$\delta_a^{II} = D_a - 2S_a = 161 - 2 \cdot 7.35 = 146.3 \approx 146 \text{ мм}$$

Диаметры оправок автоматического стана в первом и втором проходах отличаются на 1–2 мм

$$\delta_a^I = \delta_a^{II} - (1 \dots 2) = 146 - 2 = 144 \text{ мм}$$

Поперечная разностенность труб может быть уменьшена, если использовать калибровку валков со скругленными выпусками при небольшой относительной ширине калибров. Ширина калибров автоматических станов для труб из углеродистых и низколегированных сталей:

$$B_a = (1.03 \dots 1.05)D_a = 1.04 \cdot 161 = 167.44 \approx 167 \text{ мм}$$

Для осуществления нормального захвата необходимо, чтобы наружный диаметр гильзы отличался от ширины калибра автоматического стана не более 1–5 мм:

$$D_r = B_a - (1 \dots 5) = 167 - 3 = 164 \text{ мм}$$

Для повышения стабильности захвата валками автоматического стана внутренний диаметр гильзы находится по формуле

$$d_r = \delta_a^I + \Delta_r$$

Где: Δ_r – величина, учитывающая обжатие в автоматическом стане для сглаживания неровностей гильзы в зависимости от толщины труб, $\Delta_r = (2 \dots 4)$ [3; стр. 64; табл. 2.4.]

$$d_r = 144 + 3 = 147 \text{ мм}$$

Толщина стенки гильзы:

$$S_r = 0,5(D_r - d_r) = 0,5 \cdot (164 - 147) = 8.5 \text{ мм}$$

Диаметр оправки прошивного стана

$$\delta_{пр} = D_r - 2S_r - \Delta_{пр}$$

$$\Gamma_{\text{де}} \Delta_{\text{пр}} = (0,075 - 0,000135 S_{\Gamma}) D_{\Gamma} = (0,075 - 0,000135 \cdot 8.5) \cdot 164 = 12.11 \approx 12 \text{ мм}$$

$$\delta_{\text{пр}} = 164 - 2 \cdot 8.5 - 12 = 135 \text{ мм}$$

РАЗМЕРЫ ЗАГОТОВКИ

Диаметр гильзы не должен существенно отличаться от диаметра заготовки. Процесс прошивки в станах винтовой прокатки в зависимости от схемы прошивки (величины и знака угла раскатки), а также соотношения D_T/S_T может осуществляться как на «подъем» $D_3/D_T < 1$, так и на «посад» $D_3/D_T > 1$. Прошивка относительно тонкостенных гильз осуществляется на «подъем», а толстостенных – на «посад». Диаметр заготовки должен соответствовать стандартному и принимается из условия:

$$D_3 = D_T \pm (0,03 \dots 0,1)D_T = 164 + 0,03 \cdot 164 = 168.92 \approx 168 \text{ мм}$$

Обычно рекомендуют величину «подъема» гильзы в пределах 3–6%, а величину «посада» - 2–4%. Для агрегатов с двумя прошивными станами допускается подъем гильзы до 10% в первом и до 15% во втором прошивном станах. При наличии двух прошивных станов вытяжка распределяется таким образом, чтобы добиться минимального рассогласования в пропускной способности.

Для определения длины заготовки необходимо знать коэффициент суммарной вытяжки на агрегате (без учета вытяжки на калибровочном и редуционном станах):

$$\mu_\Sigma = \frac{D_3^2}{4S_p(D_p - S_p)} = \frac{168^2}{4 \cdot 6.3 \cdot (170 - 6.3)} = 6.84$$

Для труб длиной 12 м требуется заготовка длиной (с учетом обрезки 250 мм с каждого конца):

$$L_3 = \frac{12500}{\mu_\Sigma} = \frac{12500}{6.84} = 1827 \text{ мм}$$

По [4; стр. 3.] принимаем $L_3 = 1900$ мм

Коэффициент вытяжки на станах технологической линии определяется соответственно:

$$\mu_\Sigma = \mu_{\text{пр}} \mu_a^I \mu_a^{II} \mu_p \mu_k$$

Где: $\mu_{\text{пр}}$ – коэффициент вытяжки прошивного стана;

$$\mu_{\text{пр}} = \frac{D_3^2}{4S_{\Gamma}(D_{\Gamma} - S_{\Gamma})} = \frac{168^2}{4 \cdot 8.5 \cdot (164 - 8.5)} = 5.3$$

μ_a^I, μ_a^{II} – коэффициент вытяжки автоматического стана при первом и втором проходах;

$$\mu_a^I = \frac{S_{\Gamma}(D_{\Gamma} - S_{\Gamma})}{S_a^I(D_a - S_a^I)}$$

Где: S_a^I – толщина стенки при первом проходе в автоматическом стане.

$$S_a^I = 0,5(D_a - \delta_a^I) = 0.5 \cdot (161 - 144) = 8.5 \text{ мм}$$

$$\mu_a^I = \frac{8,5 \cdot (164 - 8.5)}{8.5 \cdot (161 - 8.5)} = 1.02$$

$$\mu_a^{II} = \frac{S_a^I(D_a - S_a^I)}{S_a^{II}(D_a - S_a^{II})}$$

Где: S_a^{II} – толщина стенки при втором проходе в автоматическом стане.

$$S_a^{II} = 0,5(D_a - \delta_a^{II}) = 0.5 \cdot (161 - 146) = 7.5 \text{ мм}$$

$$\mu_a^{II} = \frac{8.5 \cdot (161 - 8.5)}{7.5 \cdot (161 - 7.5)} = 1.13$$

μ_p – коэффициент вытяжки на риллинг-стане;

$$\mu_p = \frac{S_a^{II}(D_a - S_a^{II})}{S_p(D_p - S_p)} = \frac{7.5 \cdot (161 - 7.5)}{6.3 \cdot (170 - 6.3)} = 1.12$$

μ_k – коэффициент вытяжки на калибровочном стане;

$$\mu_k = \frac{S_p(D_p - S_p)}{S_k(D_k - S_k)} = \frac{6.3 \cdot (170 - 6.3)}{7 \cdot (148 - 7)} = 1.04$$

$$\mu_{\Sigma} = 5.3 \cdot 1.02 \cdot 1.13 \cdot 1.12 \cdot 1.04 = 7.22$$

Табл. 2. Результаты расчета таблицы прокатки

Размеры готовой трубы		Размеры заготовки		Прошивной стан				Автоматический стан							Риллинг-стан				Калибровочный стан		
D_o	S_o	D_3	L_3	D_Γ	S_Γ	$\mu_{\text{пр}}$	$\delta_{\text{пр}}$	D_a	S_a^I	S_a^{II}	μ_a^I	μ_a^{II}	δ_a^I	δ_a^{II}	D_p	S_p	μ_p	δ_p	D_k	S_k	μ_k
146	7	168	1900	164	8,5	5,3	135	161	8,5	7,5	1,02	1,13	144	146	170	6,3	1,12	149	148	7	1,04

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. ГОСТ 8732–78 Трубы стальные бесшовные
горячедеформированные. - М.: ИПК Издательство стандартов, 2007
2. Друян В.М., Крупман Ю.Г., Ляховецкий Л.С., Грубер И., Кёвеш Ф.
Производство стальных труб. - М.: Металлургия, 1989. - 400 с.
3. Данченко В. Н. и др. Технология трубного производства. - М.:
Интерметинжиниринг, 2002. - 640 с.
4. ГОСТ 6636–69 Основные нормы взаимозаменяемости.
Нормальные линейные размеры. - М.: ИПК Издательство стандартов, 2004
5. Кикорина И. К. Таблицы физических величин. - М.: Атомиздат, 1976. -
1009 с.