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**

«Расчёт таблицы прокатки»

Преподаватель Федулов А. А.

Студент Матвеев М. Е.

Группа НМТЗ – 313105у-КУ

Каменск уральский

2023

Оглавление

[ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ 3](#_Toc181537661)

[ВВЕДЕНИЕ 4](#_Toc181537662)

[РАЗМЕРЫ ТРУБЫ В ХОЛОДНОМ СОСТОЯНИИ 5](#_Toc181537663)

[РАЗМЕРЫ ТРУБЫ В ГОРЯЧЕМ СОСТОЯНИИ 6](#_Toc181537664)

[РАЗМЕРЫ ТРУБЫ В КАЛИБРОВОЧНОМ СТАНЕ 7](#_Toc181537665)

[РАЗМЕР ТРУБЫ ПРИ ОБКАТКЕ (РИЛЛИНГОВАНИИ). 9](#_Toc181537666)

[РАЗМЕРЫ ТРУБЫ В АВТОМАТИЧЕСКОМ СТАНЕ 10](#_Toc181537667)

[РАЗМЕРЫ ЗАГОТОВКИ 12](#_Toc181537668)

# ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

|  |  |
| --- | --- |
| Наименование | Значение |
| ТПА | 140 |
| Заготовка | непрерывнолитая |
| Конструкция | новая |
| Температура калибровки, °𝐶 | 950 |
| Материал | 12Х13 |
| Типоразмер, мм | 70х11,0 |
| Количество клетей, шт | 9 |
| 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 редукционного стана);
2. средние трубопрокатные агрегаты типа 220 и 250 – для производства труб диаметром 102–245 с толщиной стенки 3,5–50 (при наличии редукционных 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 редукционные станы).

В нашем случае это средний трубопрокатный агрегат ТПА – 140

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):

𝐷0 = (1 +)𝐷

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

𝐷0 – наружный диаметр трубы в холодном состоянии с учетом отклонений их по допускам;

+Δ𝐷%, −Δ𝐷% – предельные отклонения по наружному диаметру По [1; стр. 7; табл. 2.] принимаем Δ𝐷% равным ±0,8%, тогда:

𝐷0=(1+)∙70 = 70 мм.

𝑆0 = (1+)S

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

𝑆0 – толщина стенки в холодном состоянии с учетом отклонений их по допускам;

+Δ𝑆%, −Δ𝑆% – предельные отклонения по толщине стенки.

По [1; стр. 8; табл. 3.] принимаем Δ𝑆% равным ±12.5%, тогда:

𝑆0 = (1+)∙11 = 11 мм

# РАЗМЕРЫ ТРУБЫ В ГОРЯЧЕМ СОСТОЯНИИ

Наружный диаметр вычисляется по следующей формуле:

𝐷𝑘 = 𝐷0(1 + 𝛼𝑡)

Где: 𝛼 – коэффициент линейного расширения металла трубы, для стали в диапазоне температур от 0° до 1050°C 𝛼 = (13.5 … 17.5) ∙ 10−6;

𝑡 *–* температура трубы после калибровочного стана, 𝑡 = 950°𝐶.

В соответствии с условием задания 𝑡 = 950°𝐶 коэффициент линейного

расширения 𝛼 примем равным 15,5∙10−6 по [5; стр. 122; табл. 9.5.].

Примем 𝛼 = 15,5 ∙ 10−6, тогда:

𝐷𝑘 = 70 ∙ (1 + 15.5 ∙ 10−6 ∙ 950) = 70,99 мм

Округлим 𝐷𝑘 = 71 мм

Толщина стенки обычно равна толщине стенки готовой трубы:

S𝑘 = 𝑆0 = 11 мм

# РАЗМЕРЫ ТРУБЫ В КАЛИБРОВОЧНОМ СТАНЕ

Общая величина редуцирования вычисляется по следующей формуле:

Δ𝐷𝑘 = 2(𝑚 − 1)

Где: 𝑚 – количество клетей калибровочного (редукционного стана), 𝑚 =

12

Δ𝐷𝑘 = 2 ∙ (9 − 1) = 16 мм

Наружный диаметр трубы после риллинг-стана (обкатного):

𝐷𝑝 = 𝐷𝑘 + Δ𝐷𝑘 = 71 + 16 = 87 мм

Величина редуцирования Δ𝐷𝑘𝑖 в каждой клети и размер калибра можно определить по следующим формулам:

Δ𝐷𝑘𝑚 = (0.005 … 0.0015)𝐷𝑘;

Δ𝐷𝑘(𝑚−1) = (0.001 … 0.03)𝐷𝑘(𝑚−1);

Δ𝐷𝑘𝑖 = (0.01 … 0.03)𝐷𝑘(𝑖+1);

𝐷𝑘(𝑚−1) = 𝐷𝑘 + Δ𝐷𝑘𝑚;

𝐷𝑘𝑖 = 𝐷𝑘(𝑖+1) + Δ𝐷𝑘(𝑖+1).

Величины редуцирования Δ𝐷𝑘𝑖 и диаметры 𝐷𝑘𝑖 с учетом округления представлены в табл. 1.

*Табл. 1.* *Величины редуцирования* 𝛥𝐷𝑘𝑖 *и диаметры* 𝐷𝑘𝑖

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Величина | Размер, мм |  | Величина | Размер, мм |  | Величина | Размер, мм |
| Δ𝐷𝑘12 | 0,74 | Δ𝐷𝑘4 | 3,12 | 𝐷𝑘8 | 152 |
| Δ𝐷𝑘11 | 0,149 | Δ𝐷𝑘3 | 3,2 | 𝐷𝑘7 | 153 |
| Δ𝐷𝑘10 | 1,49 | Δ𝐷𝑘2 | 3,26 | 𝐷𝑘6 | 155 |
| Δ𝐷𝑘9 | 1,49 | Δ𝐷𝑘1 | 1,66 | 𝐷𝑘5 | 156 |
| Δ𝐷𝑘8 | 1,51 | 𝐷𝑘12 | 148 | 𝐷𝑘4 | 160 |
| Δ𝐷𝑘7 | 1,52 | 𝐷𝑘11 | 149 | 𝐷𝑘3 | 163 |

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Δ𝐷𝑘6 | 1,53 |  | 𝐷𝑘10 | 149 |  | 𝐷𝑘2 | 166 |
| Δ𝐷𝑘5 | 3,1 | 𝐷𝑘9 | 151 | 𝐷𝑘1 | 169 |

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

* При 𝑆𝑘 < 15 мм 𝑆𝑝 = 𝑆𝑘 (1 − 0.0044(𝐷𝑝 − 𝐷𝑘)) ;
* При 𝑆𝑘 > 15 мм 𝑆𝑝 = 𝑆𝑘 − 0.0671(𝐷𝑝 − 𝐷𝑘).

В нашем случае 𝑆𝑘 = 11 мм, следовательно:

𝑆р = 11 ∙ (1 − 0.0044(87 − 71)) = 10,225 мм

Округлим значение 𝑆𝑝 = 10,2 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 +Δ𝐷𝑝

Диаметр оправки 𝛿р определяют с учетом значения «подъема» диаметра Δ𝐷𝑝. Он должен быть больше внутреннего диаметра трубы 𝑑0 после автоматического стана на величину Δ𝑝:

𝛿р = (𝐷𝑎 − 2𝑆𝑎) + Δ𝑝

Где: 𝐷𝑎 – диаметр трубы после раскатки в автоматическом стане: Δ𝐷𝑝 = 9 мм [2; стр. 281; табл. 12.].

𝐷𝑎 = 𝐷𝑝 − Δ𝐷𝑝

𝐷𝑎 = 87 − 9 = 78 мм

Δ𝑝 = (0,3 ÷ 0,5)Δ𝐷𝑝 = 0,3 ∙ 9 = 2.7 мм

𝑆𝑎 – толщина стенки трубы после раскатки на автоматическом стане:

𝑆𝑎 = 𝑆0 + Δ𝑆𝑝 ± Δ𝑆𝑘 ≈ 𝑆𝑝 + (0.05 … 0.15)𝑆0 = 10,2 + 0,15 ∙ 11 = 11,85 мм

𝛿р = (𝐷𝑎 − 2𝑆𝑎) + Δ𝑝 = (78 − 2 ∙ 11,85) + 2.7 = 57 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 𝛿а𝐼𝐼 равен внутреннему диаметру трубы 𝑑𝑎:

𝛿а𝐼𝐼 = 𝐷𝑎 − 2𝑆𝑎 = 78 − 2 ∙ 11,86 = 54.3 ≈ 54 мм

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

𝛿а𝐼 = 𝛿а𝐼𝐼 − (1 … 2) = 54 − 2 = 52 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:

𝐵𝑎 = (1.03 … 1.05)𝐷𝑎 = 1.04 ∙ 78 = 81,12 ≈ 81 мм

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

Dг = 𝐵𝑎 − (1 … 5) = 81 − 3 = 78 мм

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

𝑑г = 𝛿а𝐼 + Δг

Где: Δг – величина, учитывающая обжатие в автоматическом стане для сглаживания неровностей гильзы в зависимости от толщины труб, Δг =

(2 … 4) [3; стр. 64; табл. 2.4.]

𝑑г = 52 + 3 = 55 мм

Толщина стенки гильзы:

Sг = 0,5(𝐷г − 𝑑г) = 0,5 ∙ (78 − 55) = 11.5 ммДиаметр оправки прошивного стана

𝛿пр = 𝐷г − 2𝑆г − Δпр

Где Δпр = (0,075 − 0,000135𝑆г)𝐷г = (0,075 − 0,000135 ∙ 11.5) ∙ 78 =

5,72 ≈ 5 мм

𝛿пр = 78 − 2 ∙ 11.5 − 5 = 50 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 𝐷г/𝑆г может осуществляться как на «подъем» 𝐷з/𝐷г < 1, так и на «посад» 𝐷з/𝐷г > 1. Прошивка относительно тонкостенных гильз осуществляется на «подъем», а толстостенных – на «посад». Диаметр заготовки должен соответствовать стандартному и принимается из условия:

𝐷з = 𝐷г ± (0,03 … 0,1)𝐷г = 78 + 0,03 ∙ 78 = 101,4 ≈ 101 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 редукционном станах):

𝜇∑ = = = 3,2

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

𝐿З = = = 3906 мм

По [4; стр. 3.] принимаем 𝐿з = 4000 мм

\

Коэффициент вытяжки на станах технологической линии определяется соответственно:

𝜇Σ = 𝜇пр𝜇а𝐼𝜇𝑎𝐼𝐼𝜇𝑝𝜇𝑘

Где: 𝜇пр – коэффициент вытяжки прошивного стана;

𝜇пр = = = 3,68

𝜇а𝐼, 𝜇а𝐼𝐼 – коэффициент вытяжки автоматического стана при первом и втором проходах;

=

Где: 𝑆𝑎𝐼 – толщина стенки при первом проходе в автоматическом стане. 𝑆𝑎𝐼 = 0,5(𝐷𝑎 − 𝛿𝑎𝐼) = 0.5 ∙ (78 − 52) = 13 мм

𝜇а𝐼  = = 0,81

𝜇а𝐼𝐼 =

Где: 𝑆𝑎𝐼𝐼 – толщина стенки при втором проходе в автоматическом стане. 𝑆𝑎𝐼𝐼 = 0,5(𝐷𝑎 − 𝛿𝑎𝐼𝐼) = 0.5 ∙ (78 − 54) = 12 мм

𝜇а*II* = = 1,06

𝜇𝑝 – коэффициент вытяжки на риллинг-стане;

𝜇p = = = 1,01

𝜇𝑘 – коэффициент вытяжки на калибровочном стане;

𝜇k = = = 1,18

𝜇Σ = 3,68 ∙ 0,81 ∙ 1,06 ∙ 1,01 ∙ 1,18 = 3,76

*Табл. 2. Результаты расчета таблицы прокатки*

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Размеры готовой трубы | | Размеры заготовки | | Прошивной стан | | | |  | Автоматический стан | | | |  |  |  | Риллинг-стан | |  | Калибровочный стан | | |
| 𝐷𝑜 | 𝑆𝑜 | 𝐷з | 𝐿з | 𝐷г | 𝑆г | μпр | δпр | 𝐷а |  |  | 𝜇а𝐼 | 𝜇а𝐼I | 𝛿𝑎𝐼 | 𝛿𝑎*II* | 𝐷р | 𝑆р | μр | 𝛿р | 𝐷к | 𝑆к | μк |
| 70 | 11 | 101 | 4000 | 78 | 10,2 | 3,68 | 50 | 78 | 13 | 12 | 0,81 | 1,06 | 52 | 54 | 87 | 10,2 | 1,01 | 57 | 71 | 11 | 1,18 |