

Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования  
«Гомельский государственный технический  
университет имени П. О. Сухого»

Кафедра «Металлургия и литейное производство»

**Ю. Л. Бобарикин**

## **ОСНОВЫ ТРУБНОГО ПРОИЗВОДСТВА**

**ПРАКТИКУМ**

**по одноименной дисциплине  
для студентов специальности 1-42 01 01  
«Металлургическое производство  
и материалобработка (по направлениям)»,  
направления специальности 1-42 01 01-02  
«Металлургическое производство  
и материалобработка (материалобработка)»,  
специализации 1-42 01 01-02 01 «Обработка металлов  
давлением» дневной и заочной форм обучения**

Гомель 2016

УДК 621.774.352(075.8)  
ББК 34.748.12я73  
Б72

*Рекомендовано научно-методическим советом  
механико-технологического факультета ГГТУ им. П. О. Сухого  
(протокол № 8 от 24.09.2015 г.)*

Рецензент: канд. техн. наук, доц. каф. «Обработка материалов давлением»  
ГГТУ им. П. О. Сухого *В. Ф. Буренков*

**Бобарикин, Ю. Л.**

Б72 Основы трубного производства : практикум по одной дисциплине для студентов специальности 1-42 01 01 «Металлургическое производство и материалобработка (по направлениям)», направления специальности 1-42 01 01-02 «Металлургическое производство и материалобработка (материалобработка)», специализации 1-42 01 01-02 01 «Обработка металлов давлением» днев. и заоч. форм обучения / Ю. Л. Бобарикин. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2016. – 26 с. – Систем. требования: PC не ниже Intel Celeron 300 МГц ; 32 Mb RAM ; свободное место на HDD 16 Mb ; Windows 98 и выше ; Adobe Acrobat Reader. – Режим доступа: <https://elib.gstu.by>. – Загл. с титул. экрана.

Представлена методика расчета деформационных, кинематических и энергосиловых параметров раскатки черновых труб применительно к непрерывному раскатному пятиклетьевому трехвалковому прокатному стану.

Для студентов специальности 1-42 01 01 «Металлургическое производство и материалобработка (по направлениям)» дневной и заочной форм обучения.

УДК 621.774.352(075.8)  
ББК 34.748.12я73

© Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», 2016

## Содержание

Практическое занятие № 1 Расчет деформированных параметров стенки трубы и номинальных размеров профиля трубы для проходов раскатки	4
Практическое занятие № 2 Расчет значений площадей сечения трубы для проходов раскатки	10
Практическое занятие № 3 Определение размеров калибров раскатного непрерывного стана	13
Практическое занятие № 4 Расчет скоростного режима раскатки и коэффициента контактного трения	18
Практическое занятие № 5 Расчет параметров очага деформации раскатки	21
Практическое занятие № 6 Расчет давления, усилия, момента и мощности раскатки	23

## ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 1

### РАСЧЕТ ДЕФОРМАЦИОННЫХ ПАРАМЕТРОВ СТЕНКИ ТРУБЫ И НОМИНАЛЬНЫХ РАЗМЕРОВ ПРОФИЛЯ ТРУБЫ ДЛЯ ПРОХОДОВ РАСКАТКИ

#### Основные теоретические сведения

Форма сечения трубы до раскатки, то есть сечения гильзы, в соответствии с характеристикой исходной заготовки соответствует относительно правильной форме кольца с наружным диаметром  $D_0$  и толщиной кольца (стенки трубы)  $S_0$  мм. В клетке № 1 сечение трубы пластически сжимается по наружному и внутреннему диаметрам и обжимается на оправке без деформации стенки трубы по толщине. При этом стенка пластически деформируется только в направлении длины трубы, не изменяя своей толщины. Форма сечения трубы после проходов №№ 1, 2, 3 и 4 имеет отклонения от формы правильного кольца. Это связано с наличием зазоров между прокатными валками, с наличием выпусков калибров и с отсутствием целесообразности создания правильных круглых форм сечения трубы в промежуточных калибрах. То есть, форма и толщина стен в сечении трубы в этих проходах имеет существенные отклонения от правильного кольца. В последнем проходе №5 форма сечения опять приобретает относительно правильную форму кольца, но с меньшим наружным диаметром. Поэтому наружные диаметры и толщины стен трубы по проходам прокатки будем принимать как номинальные, соответствующие минимальным внешним диаметрам трубы на проходах прокатки, формируемым в зонах дна калибров. Номинальные размеры соответствуют размерам правильных колец, вписанных в геометрию калибра и ограниченных по внутреннему диаметру оправкой, а по наружному - поверхностью круглой центральной зоны калибра.

После выхода из клетки №5 труба поступает на стан извлекатель оправки, работающий по принципу редуцированного стана с минимальной деформацией трубы.

В соответствии с исходными данными толщина стенки черновой трубы после ее выхода из стана извлекателя равна  $S_k$  мм, а диаметр -  $D_k$  мм. Извлекатель, в соответствии с технологическими характеристиками, при окончательном снятии трубы с оправки уменьшает внешний и внутренний диаметры трубы с коэффициентом вытяжки трубы  $\mu_k$ . Поэтому диаметр трубы  $D_5$  на выходе из последней клетки №5 раскатного стана будет больше диаметра  $D_k$  черновой трубы на выходе из извлекателя. В связи с отсутствием достаточного натяжения трубы между тремя трехвалковыми клетями стана извлекателя, толщина стенки трубы  $S_k$  на выходе из этого стана несколько увеличивается по сравнению с толщиной стенки  $S_5$  на выходе из раскатного стана. Исходя из технологических характеристик профиля трубы после раскатки на оправке принимаем:  $S_5$  мм,  $D_5$  мм.

Номинальную толщину стенки на проходе № 1 принимаем:

$$S_1 = S_0, \text{ мм} \quad (1)$$

Далее, исходя из номинальных размеров толщины стенки профиля трубы на проходах прокатки № 1 и 5, определяются толщины стенок трубы в проходах №№ 2, 3 и 4. Для этого вначале вычисляется номинальная суммарная степень деформации по толщине стенки трубы в раскатном стане как:

$$\varepsilon nZ = \ln\left(\frac{S_5}{S_1}\right), \quad (2)$$

Знак «-» при значении степени деформации указывает на уменьшение размера деформируемого элемента, то есть стенки трубы. Степень деформации, рассчитываемая как натуральный логарифм отношения конечной и начальной величины деформируемого элемента носит названия-синонимы: истинная, логарифмическая, адетивная. Этот параметр отличается повышенной точностью расчета величины деформации и будет использован далее.

Необходимо распределить  $\varepsilon nZ$  по проходам прокатки №№ 2, 3, 4 и 5. Исходя из практических рекомендаций, принимаем следующее

распределение номинальных деформаций стенки трубы по проходам прокатки: для прохода № 2 - 35% от  $\varepsilon nZ$ ; для № 3 - 35 % от  $\varepsilon nZ$ ; для № 4 - 30 % от  $\varepsilon nZ$ , для № 5 - 0 % от  $\varepsilon nZ$ . В последнем раскатном калибре №5 исключим деформацию номинального размера стенки, а деформироваться будут только участки стенки с боковыми овальностями. Это позволит получить профиль трубы после окончательной раскатки в виде правильного кольца. Номинальные деформации не учитывают увеличение степени деформации от смятия боковых овалностей стенки трубы в рассматриваемой схеме прокатки, их величины равны:

$$\varepsilon_i^n = k_i \cdot \varepsilon nZ, \quad (3)$$

где  $k_i$  - коэффициент деформации в относительных единицах,

$$k_1 = 0,35, \quad k_2 = 0,35, \quad k_3 = 0,30;$$

Номинальные размеры стенки можно определить по ходу прокатки по формуле:

$$S_i = S_{i-1} \cdot e^{\varepsilon_i^n}, \text{ мм} \quad (4)$$

где  $e$  - натуральное число;

$i$  - номер прокатной клетки,  $i = 2,3,4$ ;

$\varepsilon_i^n$  - номинальная степень деформации стенки трубы в  $i$  – ом проходе прокатки в относительных единицах;

Степени деформации стенок трубы на проходах прокатки № 2,3,4,5 рассчитываются исходя из условия, что расположение валков в пяти трех валковых клетях обеспечивает эффект кантовки направления обжима трубы на  $45^\circ$ . Таким образом, одни и те же участки стенки трубы деформируются только в четных номерах проходов прокатки, а другие, смещенные от первых относительно центра сечения на  $45^\circ$ , деформируются в нечетных проходах.. Поэтому, степени деформации стенок трубы равны:

$$\varepsilon_i = \ln\left(\frac{S_i}{S_{i-2}}\right), \quad (5)$$

Для определения номинальных внешних диаметров трубы по проходам прокатки вначале определяется диаметр оправки в горячем состоянии  $D_{on}$  и холодном состоянии  $D_{on}^x$ . Величина  $D_{on}$  определяется исходя из наличия зазора между горячей оправкой и внутренней поверхностью трубы после последнего прохода раскатки. Зазор способствует извлечению оправки. Величина  $D_{on}^x$  определяется исходя из температурного расширения размера оправки, и служит рекомендацией для ее изготовления. Исходя из этого, величины  $D_{on}$  и  $D_{on}^x$  определяются по формуле:

$$\begin{aligned} D_{on} &= D_5 - 2 \cdot S_5 - 2 \cdot \beta, \text{ мм} \\ D_{on}^x &= D_{on} \cdot (1 - \alpha \cdot t), \text{ мм} \end{aligned} \quad (6)$$

где  $\beta$  - зазор между внутренней поверхностью трубы и оправкой после раскатки, мм;

$\alpha$  - коэффициент линейного расширения материала оправки,  $^{\circ}\text{C}^{-1}$ ;

$t$  - температура прокатки на последнем проходе,  $^{\circ}\text{C}$ .

Принимаем:  $\beta = 0,1 \text{ мм}$ ,  $\alpha = 1,1 \cdot 10^{-5} \text{ } ^{\circ}\text{C}^{-1}$  - для стали,  $t = 1000 \text{ } ^{\circ}\text{C}$  - температура конца раскатки, так как начальная температура гильзы перед прокаткой  $1100 \text{ } ^{\circ}\text{C}$ .

Номинальные (внешние) диаметры трубы в калибрах валков на проходах № 1,2,3,4,5 в горячем состоянии:

$$D_i = D_{on} + 2 \cdot S_i, \text{ мм} \quad (7)$$

Значения  $D_i$  между клетями (вне калибров) превышают приведенные значения этих параметров на величину упругих деформаций, отжимающих сечение трубы от оправки.

Определим абсолютные обжатия трубы в проходах прокатки, в которых стенка трубы пластически деформируется, с учетом деформации боковых овалностей стенки трубы:

$$\Delta S_i = S_{i-2} - S_i, \text{ мм} \quad (8)$$

## Выполнение работы

Задание:

Исходные данные для расчета принимаются исходя из заданного варианта по таблице 2.

В соответствии с исходными данными требуется выполнить расчеты в соответствии с зависимостями, приведенными в основных теоретических сведениях к данной практической работе.

Результаты расчетов сводятся в таблицу 1.

Таблица 1 Значения деформационных параметров стенки трубы и номинальных размеров профиля трубы

№ прохода	Номинальная деформация по толщине стенки трубы, $\varepsilon_i^n$	Деформация по толщине стенки трубы, $\varepsilon_i$	Номинальная толщина стенки трубы, $S_i$ , мм	Номинальный диаметр трубы в калибре, $D_i$ , мм	Абсолютная деформация стенки трубы, $\Delta S_i$ , мм
0					
1					
2					
3					
4					
5					



Таблица 2 - Исходные данные для расчета

№ варианта	$D_z$	$D_z$	$S_z$	$D_{ч.т.}$	$S_{ч.т.}$	$V_5$	Сталь
1	200	215	11,4	184,3	4,35	90	35X
2	200	215	12,4	182,9	4,7	91	25X
3	200	215	17,6	182,9	5,0	92	40
4	200	215	13,8	184,4	6,8	93	40X
5	200	215	15,5	182,6	7,65	94	1X13
6	200	215	13,8	183,5	5,0	95	2X13
7	200	215	15,5	183,6	8,15	96	3сп
8	200	215	12,4	183,7	6,47	97	5сп
9	200	215	11,4	183,8	4,1	89	3кп
10	200	215	15,5	185,9	9,3	88	45
11	200	215	11,4	184,1	4,25	87	20
12	200	215	12,4	184,6	4,50	86	ХВГ
13	200	215	17,6	185,2	11,1	90	20X13
14	200	215	13,8	183,5	6,35	91	12X17
15	200	215	15,5	183,9	8,3	92	30X13
16	140	150	12,5	125,6	7,05	93	15X
17	140	150	14,0	123,9	9,5	94	30X
18	140	150	16,8	125,1	11,3	95	10
19	140	150	19,7	123,7	13,6	96	60C2
20	140	150	21,2	123,5	15	97	35X
21	140	150	22,6	124	16,75	89	25X
22	140	150	24,1	125	18,75	88	40
23	140	150	14,0	123,7	7,6	87	40X
24	140	150	18,2	123,8	12,15	86	1X13
25	140	150	10,3	125	4,4	90	2X13
26	140	150	9,4	125,8	3,9	91	3сп
27	140	150	16,8	126,2	11,85	92	5сп
28	140	150	15,4	124,6	9,55	93	3кп
29	140	150	19,7	123,4	13,45	94	45
30	140	150	11,3	126	6,0	95	20

## ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 2

### РАСЧЕТ ЗНАЧЕНИЙ ПЛОЩАДЕЙ СЕЧЕНИЯ ТРУБЫ ДЛЯ ПРОХОДОВ РАСКАТКИ

#### Основные теоретические сведения

Величины площадей сечений известны для исходной заготовки и для трубы на выходе из последней пятой раскатной клетки. Необходимо определить эти величины для промежуточных проходов прокатки. Так как форма этих сечений соответствует формам неправильных колец, то их площади можно определить не из геометрического построения, а исходя из деформационных показателей сечения трубы. Оценка точной геометрии сечения не имеет практической целесообразности.

Для этой цели применим принцип пропорциональной деформации стенки трубы и ее сечения. Исходя из этого, вначале определим деформацию сечения трубы по проходам прокатки, а затем и соответствующие площади сечений.

Номинальная степень деформации сечения трубы без изменения толщины стенки в проходе № 1 равна:

$$\varepsilon_1 = \ln \left( \frac{D_1^2 - (D_1 - 2 \cdot S_1)^2}{D_0^2 - (D_0 - 2 \cdot S_0)^2} \right), \quad (1)$$

Площадь сечения заготовки:

$$F_0 = D_0^2 - (D_0 - 2 \cdot S_0)^2, \text{ мм}^2 \quad (2)$$

Площадь сечения трубы в последнем раскатном калибре №5:

$$F_5 = D_5^2 - (D_5 - 2 \cdot S_5)^2, \text{ мм}^2 \quad (3)$$

Суммарная степень деформации сечения трубы за весь цикл раскатки:

$$\delta\Sigma = \ln\left(\frac{F_5}{F_0}\right), \quad (4)$$

Суммарная степень деформации стенки трубы за весь цикл прокатки, включая деформацию сечения в проходе №1:

$$\varepsilon\Sigma = \sum_1^5 \varepsilon_i, \quad (5)$$

Исходя из принципа пропорциональности деформации стенок и сечения трубы, степени деформации сечений равны:

$$\delta_i = \delta\Sigma \cdot \frac{\varepsilon_i}{\varepsilon\Sigma}, \quad (6)$$

Значения площадей сечений равны:

$$F_i = F_{i-1} \cdot e^{\delta_i}, \text{ мм}^2 \quad (7)$$

Значение  $F_1$  мм<sup>2</sup> превышает номинальное значение  $F_1^n = D_1^2 - (D_1 - 2 \cdot S_1)^2$ , мм<sup>2</sup>. Это связано с неравномерным обжатием стенки трубы на оправке.

### Выполнение работы

Задание:

В продолжении расчетов в практической работе №1 требуется выполнить расчеты в соответствии с зависимостями, приведенными в основных теоретических сведениях к данной практической работе.

Результаты расчетов сводятся в таблицу 2.

Таблица 2. Значения площадей сечений трубы  
для проходов раскатки

№ прохода	Площадь сечения трубы, $F_i$
0	
1	
2	
3	
4	
5	

## ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 3

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЗМЕРОВ КАЛИБРОВ РАСКАТНОГО НЕПРЕРЫВНОГО СТАНА

#### Основные теоретические сведения

К основным размерам калибров относятся следующие элементы (рис.1):

- $Rd$  - радиус дна калибра;
- $Rv$  - радиус выпуска калибра;
- $\alpha$  - угол выпуска калибра;
- $r$  - радиус округления выпуска калибра;
- $t$  - межвалковый зазор;
- $e$  - эксцентриситет калибра.

Геометрия калибра характеризуется и дополнительными параметрами, производными от основных параметров, которые не рассматриваются.

Величины  $Rd_i$  соответствуют значениям внешних номинальных радиусов труб в калибрах проходов прокатки, равных половине номинальных диаметров трубы. Для более равномерной деформации в более нагруженных калибрах на их дне создается дополнительная овальность. В этих случаях вводится параметр  $e_i$ , смещающий точку приложения радиуса  $Rd_i$ .

$$Rd_i = \frac{D_i + 2 \cdot e_i}{2}, \text{ мм} \quad (1)$$

$$e_i = n_i \cdot D_i, \text{ мм} \quad (2)$$

где  $n_i$  - коэффициент эксцентриситета.

Для прохода №1 принимаем  $n_1=0$ , так как пластической деформации стенки по толщине в этом калибре нет и создавать дополнительную овальность дна калибра нет необходимости. То есть  $e_1=0$ .

В проходах №2 и 3 обеспечивается основная деформация стенки. По сути это вытяжные калибры для стенки трубы. И поэтому принимаем:  $n_2=0,015$  - то есть 1,5 % от  $D_2$ ;  $n_3=0,01$  - то есть 1% от  $D_3$ .

В проходах №4 и 5 формируется правильная форма кольца сечения, поэтому принимаем  $n_4=0$ ,  $n_5=0$ . Соответственно:  $e_4=0$ ,  $e_5=0$ .

Величина  $Rv_i$  зависит от  $Rd_i$  и от номера прохода прокатки, определяется по формуле:

$$Rv_i = k_i \cdot Rd_i, \text{ мм} \quad (3)$$

В проходе №1 отсутствует деформация стенки трубы по толщине, поэтому выпуск калибра не используется и калибр имеет один радиус  $Rd_1$ .

В проходе №2 имеет место активная деформация стенки трубы. Поэтому принимаем  $k_2=3$ .

В проходе №3 деформация стенки выше, чем в проходе №2, поэтому принимаем  $k_3=3,3$ .

В проходе №4 деформация уменьшается в сравнении с проходом №2 и на дне калибров формируется окончательный размер стенки раскатанной трубы. При этом в зонах на уровне зазоров валков стенка трубы в этом проходе еще не сформирована. в этой связи принимаем  $k_4=2,5$ .

В проходе №5 происходит окончательное формирование стенки раскатанной трубы путем деформации еще не сформированной части стенки сечения трубы. В этой связи принимаем  $k_5=2,5$ .

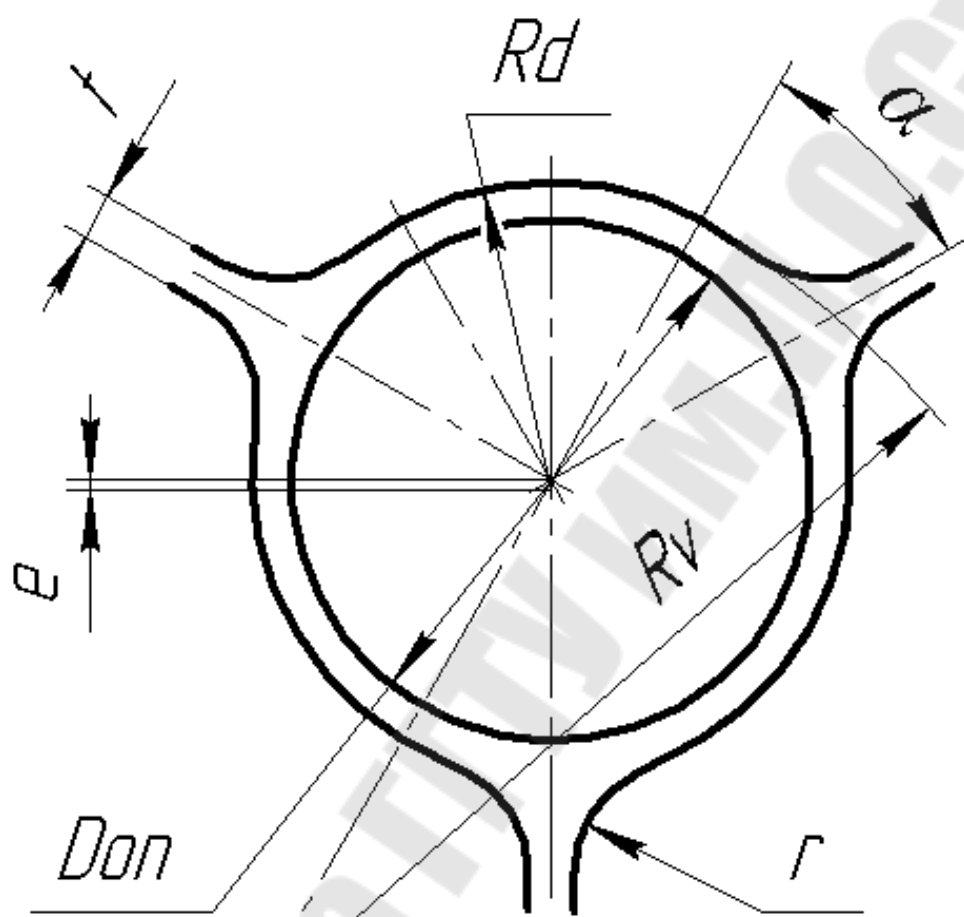


Рис.1 Схема калибра.

Значения радиусов округления выпусков калибров  $r_i$  принимаются из следующих практических соотношений:

$$\begin{aligned}r_5 &= 0,055 \cdot Rv_5, \text{ мм} \\r_4 &= 0,055 \cdot Rv_4, \text{ мм} \\r_3 &= 0,085 \cdot Rv_3, \text{ мм} \\r_2 &= 0,12 \cdot Rv_2, \text{ мм} \\r_1 &= 0,5 \cdot r_2, \text{ мм}\end{aligned}\tag{4}$$

Межвалковые зазоры выбираются в зависимости от значений  $r_i$  по следующим соотношениям, характерным калибровке с наличием параметра  $e_i$ :

$$\begin{aligned}t_5 &= r_5, \text{ мм} \\t_4 &= r_4, \text{ мм} \\t_3 &= t_4 + 2, \text{ мм} \\t_2 &= t_4 + 2, \text{ мм} \\t_1 &= 0,0, \text{ мм}\end{aligned}\tag{5}$$

В проходе №1 зазор между валками исключается вследствие осуществления операции обжима трубы без уменьшения стенки, аналогичной операции профилировки труб, в которой контур калибра повторяет правильную форму сечения трубы.

Углы выпусков калибров  $\alpha_i$  принимаются равными  $30^\circ$ . В проходе № 1 выпуск не используется, поэтому  $\alpha_1=0$ .

В соответствии с конструктивными особенностями раскатного стана для калибров принимается: ширина прокатного валка 210 мм, диаметр прокатного валка 740 мм, расчетный диаметр оправки 51,2 мм.



## Выполнение работы

Задание:

В продолжении расчетов в практических работах №1, 2 требуется выполнить расчеты в соответствии с зависимостями, приведенными в основных теоретических сведениях к данной практической работе.

Все полученные основные размеры калибров сводятся в таблицу 3.

В работе выполняется чертеж калибров для 5-ти проходов раскатки.

Таблица 3 Размеры раскатных калибров

№ прохода прокатки	Радиус дна калибра, $Rd$ , мм	Радиус выпуска калибра, $Rv$ , мм	Угол выпуска калибра, $\alpha$ , град.	Радиус округления выпуска калибра, $r$ , мм	Межвалковый зазор, $t$ , мм	Экцентриситет калибра, $e$ , мм
1		0,0	0,0		0,0	0,0
2						
3						
4						0,0
5						0,0

## ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 4

### РАСЧЕТ СКОРОСТНОГО РЕЖИМА РАСКАТКИ И КОЭФФИЦИЕНТА КОНТАКТНОГО ТРЕНИЯ

#### Основные теоретические сведения

Основным результатом расчета скоростного режима прокатки являются значения линейных скоростей движения трубного раската  $V_i$  и значения угловых скоростей вращения валков  $n_i$  на каждом проходе прокатки.

При расчете учитываем отсутствие кинематических натяжений раската между клетями. Поэтому коэффициенты кинематических натяжений использоваться не будут, то есть, приняты равными 1.

Значения  $V_i$  можно вычислить против хода прокатки исходя из закона постоянства секундных объемов при непрерывной прокатке по формуле:

$$V_{i-1} = \frac{F_i \cdot V_i}{F_{i-1}}, \text{ м/с} \quad (1)$$

$$V_4 = \frac{F_5 \cdot V_5}{F_4}, \text{ м/с}, \quad (2)$$

где  $V_5$  м/с – заданная скорость трубы на выходе из раскатного стана.

Далее необходимо определить катающие диаметры для проходов прокатки  $Dk_i$ .

Точные значения  $Dk_i$  вычислить проблематично в связи с наличием значительных трудностей. Форма калибра имеет элементы круга и овала. Поэтому диаметры валков и соответственно линейные скорости вращения элементарных участков контактной поверхности калибров разные. Катающий диаметр валков - это диаметр валка, который указывает на элементарный участок контактной поверхности

валка, скорость которого равна скорости движения трубного раската  $V_i$ . Для определения точной величины  $Dk_i$  требуется полный анализ действия контактных сил трения, определение зон отставания и опережения для трех валковой схемы продольной раскатки. Получаемые в подобных случаях формулы сложны в практических расчетах. Поэтому с достаточной точностью инженерного расчета можно определить эту величину исходя из предположения, что  $Dk_i$  проходит через геометрический центр тяжести участков сечения трубы, ограниченных дном калибра валков, оправкой и радиусами  $Rv_i$ , проходящими через контакт с радиусами  $r_i$ . На этих участках осуществляется деформация трубы. Исходя из анализа полученной ранее геометрии калибров, можно использовать обобщенную закономерность:

$$Dk_i = Db - 0,85 \cdot D_i, \text{ мм} \quad (3)$$

где  $Db$  - идеальный (начальный) диаметр прокатных валков, равный 740 мм;

0,85 - коэффициент смещения катающего диаметра от дна калибра

для трех валковой раскатки,

например, для двухвалковой раскатки он равен 0,7...0,76.

$$Dk_5 = Db - 0,85 \cdot D_5, \text{ мм}$$

Значения  $n_i$  вычисляются по формуле:

$$n_i = \frac{60 \cdot V_i}{\pi \cdot Dk_i}, \text{ об/мин}$$

Коэффициент контактного трения  $f$  определяется для каждого прохода прокатки по формуле [1]:

$$f = km \cdot kc \cdot kv \cdot (0,55 - 0,00024 \cdot T),$$

где  $km$  - коэффициент, зависящий от материала валков;  
 $kc$  - коэффициент, зависящий от содержания углерода в металле трубы;  
 $kv$  - коэффициент, зависящий от скорости прокатки;  
 $T$  - температура прокатки,  $^{\circ}\text{C}$ .

Исходя из того, что материал валков - чугун, в зависимости от прохода и средняя принятая температура прокатки  $(1100+1000)/2=1050$   $^{\circ}\text{C}$ :

### Выполнение работы

Задание:

В продолжении расчетов в практических работах №1, 2, 3 требуется выполнить расчеты в соответствии с зависимостями, приведенными в основных теоретических сведениях к данной практической работе.

Результаты расчетов сводятся в таблицу 4.

Таблица 4. Кинематические параметры прокатки

№ прохода прокатки	Скорость трубного раската $V_i$ , м/с	Катающий диаметр $Dk_i$ , мм	Угловая скорость валков $n_i$ , об/мин	Коэффициент контактного трения, $f_i$
0				
1				
2				
3				
4				
5				

## ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 5

### РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ОЧАГА ДЕФОРМАЦИИ РАСКАТКИ

#### Основные теоретические сведения

Расчет предполагает определение для каждого прохода прокатки средней длины и ширины очага деформации, угла захвата, которые используются далее в энергосиловом анализе.

В двухвалковой схеме раскатки в одном очаге деформации присутствует зона редуцирования и зона обжатия. В трех валковой схеме труба обжимается на оправке более плотно и зона редуцирования значительно меньше. Поэтому в проектируемой технологии трех валковой прокатки принимаем присутствие в очаге деформации сплошной зоны редуцирования только в проходе №1. В проходах №№ 2,3,4 и 5 принимаем наличие в очаге деформации только зон обжатия.

Для определения длины зоны редуцирования  $L_p$  и длины зоны обжатия  $L_o$  стенки трубы в продольном сечении по вершине калибра необходимо проанализировать схему очага деформации.

Величины  $L_o$  можно найти по известной формуле [2], измененной для проектируемой схемы прокатки:

$$L_o = \sqrt{\Delta S_i \cdot [(Db - D_i) + S_i + S_{i-2}]} \quad , \text{ мм} \quad (1)$$

Значение  $L_{p1}$  определяется также по известной приближенной, но адаптированной формуле:

$$L_{p1} = \sqrt{(D_0 - D_1) \cdot \frac{(Db - D_1)}{2}} \quad , \text{ мм} \quad (2)$$

Для расчета величины ширины контакта трубы с валком  $bk$  равной ширине очага деформации можно применить известную формулу для круглых калибров с округленными выпусками, используемую в двухвалковой раскатке на длинной оправке. Но для этого потребуется существенное изменение ее вида для трех валковой схемы. Поэтому можно оценить эту величину путем геометрического анализа схемы

раскатки. С некоторой степенью упрощения можно предположить, что  $bk$  представляет собой хорду дуги длиной  $(\pi \cdot D / 3 - t - 2 \cdot r)$  диаметром  $D_i$ . Поэтому для проходов прокатки можно применить формулу:

$$bk_i = D_i \cdot \sin\left(\frac{1}{D_i} \cdot \left(\frac{\pi \cdot D_i}{3} - t_i - 2 \cdot r_i\right)\right), \text{ мм} \quad (3)$$

Угол захвата в вершине калибра для прохода №1 можно определить по формулам:

$$\varphi_1 = \sqrt{\frac{(D_0 - D_1) \cdot 2}{(Db - D_1)}}, \text{ рад} \quad (4)$$

Угол захвата в вершине калибра для проходов №2,3,4 и 5 можно определить по формулам:

$$\varphi_i = \sqrt{\frac{4 \cdot S_i}{(Db - D_i)}}, \text{ рад} \quad (5)$$

### Выполнение работы

Задание:

В продолжении расчетов в практических работах №1, 2, 3, 4 требуется выполнить расчеты в соответствии с зависимостями, приведенными в основных теоретических сведениях к данной практической работе.

Результаты расчетов сводятся в таблицу 5.

Таблица 5 Параметры очага деформации

№ прохода прокатки	Длина очага деформации, мм	Ширина очага деформации, $bk$ , мм	Угол захвата $\varphi_i$ , рад
1			
2			
3			
4			
5			

## ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 6

### РАСЧЕТ ДАВЛЕНИЯ, УСИЛИЯ, МОМЕНТА И МОЩНОСТИ РАСКАТКИ

#### Основные теоретические сведения

Расчет предполагает определение для каждого прохода прокатки основных энергосиловых параметров: давления, усилия, момента и мощности прокатки. Для этой цели можно взять за основные формулы известные зависимости для продольной раскатки трубы на длинной оправке по двухвалковой схеме прокатки [2]. Отличие будет состоять в том что, указанные параметры адаптируются и определяются для одного валка трех валковой прокатки, которые будут аналогичны для двух других валков.

Вначале определяются значения сопротивления пластической деформации  $\sigma s_i$  для проходов раскатки:

$$\sigma s_i = \sigma_0 \cdot u_i^a \cdot (10 \cdot |\delta_i|)^b \cdot (T_i/1000)^c, \text{ МПа} \quad (1)$$

где  $u_i$  – скорость деформации,  $\text{с}^{-1}$  ;

$T_i$  - средняя температура прокатки,  $^{\circ}\text{C}$  ; принимается  $1050^{\circ}\text{C}$ .

где  $\sigma_0, a, b, c$  – экспериментальные коэффициенты, приведенные в таблице 8.3 практикума по дисциплине «Технология прокатного производства».

Значения  $u_i$  определяются по формулам:

$$u_i = \frac{V_i}{L o_i}, \quad 1/\text{с} \quad (2)$$

Давление прокатки для прохода №1, то есть для очага деформации с зоной редуцирования при прокатке труб на оправке, можно определить по формуле В.П. Анисифорова:

$$p_1 = \eta_1 \cdot \sigma_1 \cdot \frac{2 \cdot S_0}{D_{cp1}}, \text{ МПа} \quad (3)$$

где  $\eta_1$  - коэффициент, учитывающий влияние внешних зон очага деформации;

$D_{cp1}$  - средний диаметр трубы в очаге деформации;

$$D_{cp1} = \frac{(D_0 + D_1)}{2}, \text{ мм}$$

$$\eta_1 = 1 + 0,9 \cdot \frac{D_{cp1}}{L_{p1}} \cdot \sqrt{\frac{S_0}{D_{cp1}}}$$

Давление прокатки в проходах №2,3,4 и 5, то есть для очагов деформации с зоной обжатия при прокатке труб на оправке, можно определить по формуле А.И. Целикова:

$$p_i = 1,15 \cdot \sigma_i \cdot (1 + m_i) \quad (4)$$

$$m_i = \frac{2 \cdot f_i \cdot L_{o_i}}{(S_{i-2} + S_i)}, \text{ МПа}$$

Усилие прокатки:

$$P_i = p_i \cdot b k_i \cdot L_{o_i}, \text{ Н} \quad (5)$$

Момент прокатки:

$$M_i = P_i \cdot \frac{D_b - D_i}{2} \cdot \sin\left(\frac{\varphi_i}{2}\right) \pm Q_i \cdot \frac{D k_i}{2}, \text{ Н}\cdot\text{мм} \quad (6)$$

где  $Q_i$  – осевое усилие, действующее на внутреннюю поверхность трубы от трения с оправкой.

Усилие  $Q_i$  принимается со знаком «+», если скорость оправки меньше скорости трубы, и со знаком «-», если скорость оправки больше скорости трубы. В проектируемом процессе принимаем «+» для



проходов № 2,3,4 и 5. Проход №2 характеризуется почти равной скоростью трубы и оправки, но трение между оправкой и трубой существует. Для расчета принимаем вариант более экстремальный для привода в этом проходе, то есть знак «+». В проходе №1  $Q_1=0$ .

Величину  $Q_i$  можно определить по адаптированной под трех валковую прокатку формуле П.П. Лаврова для осевого усилия, возникающего при относительном движении длинной оправки в одной клетки:

$$Q_i = 2 \cdot f_{on} \cdot (P_i - 2 \cdot \sigma_i \cdot S_i \cdot L_{o_i}) \cdot \frac{\pi/3 - \alpha_i}{\sin(\pi/3 - \alpha_i)}, \text{ Н} \quad (7)$$

где  $f_{on}$  – коэффициент трения между оправкой и трубой, принимаемый 0,07.

Мощность прокатки для одного валка в  $i$ -ом проходе прокатки определяется по формуле:

$$W_i = 10^{-3} \cdot \frac{\pi}{30} \cdot M_i \cdot n_i, \text{ кВт} \quad (8)$$

Мощности двигателей приводов каждого валка: в проходе №1 составляет 70 кВт, для валков проходов № 2,3 и 4 – 500 кВт, для валков прохода № 5 – 200 кВт. Расчетные мощности прокатки для проходов прокатки меньше соответствующих мощностей двигателей.

## Выполнение работы

Задание:

В продолжении расчетов в практических работах №1, 2, 3, 4, 5 требуется выполнить расчеты в соответствии с зависимостями, приведенными в основных теоретических сведениях к данной практической работе.

Результаты расчетов сводятся в таблицу 6.

Таблица 6 Энергосиловые параметры раскатки

№ прохода прокатки	Сопротивление деформации, $\sigma_{si}$ , МПа	Давление прокатки, $p_i$ , МПа	Усилие прокатки, $P_i$ , Н	Момент прокатки, $M_i$ , Н·мм	Мощность прокатки, $W_i$ , кВт
1					
2					
3					
4					
5					

**Бобарикин Юрий Леонидович**

## **ОСНОВЫ ТРУБНОГО ПРОИЗВОДСТВА**

**Практикум  
по одноименной дисциплине  
для студентов специальности 1-42 01 01  
«Металлургическое производство  
и материалобработка (по направлениям)»,  
направления специальности 1-42 01 01-02  
«Металлургическое производство  
и материалобработка (материалобработка)»,  
специализации 1-42 01 01-02 01 «Обработка металлов  
давлением» дневной и заочной форм обучения**

Подписано к размещению в электронную библиотеку  
ГГТУ им. П. О. Сухого в качестве электронного  
учебно-методического документа 21.06.16.

Рег. № 91Е.  
<http://www.gstu.by>