



Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова»

Е.Ю. Дубровская

ТЕОРИЯ ОБРАБОТКИ МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ

*Утверждено Редакционно-издательским советом университета
в качестве учебного пособия*

Магнитогорск
2015

УДК 621.7

Рецензенты:

Преподаватель спец. дисциплин,
ГБОУ СПО «Политехнический колледж»

И.М. Курлова

Методист ГБОУ СПО «Технологический колледж»

Е. Г. Губанова

Дубровская Е.Ю.

Теория обработки металлов давлением [Электронный ресурс] : учебное пособие / Елена Юрьевна Дубровская ; ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Изд. 2-е., испр. и доп. – Электрон. текстовые дан. (1,0 Мб). – Магнитогорск : ФГБОУ ВПО «МГТУ», 2015. – 1 электрон. опт. диск (CD-R). – Систем. требования : IBM PC, любой, более 1 GHz ; 512 Мб RAM ; 10 Мб HDD ; MS Windows XP и выше ; Adobe Reader 8.0 и выше ; CD/DVD-ROM дисковод ; мышь. – Загл. с титул. экрана.

Учебное пособие призвано решить такие важные задачи как: систематизация и закрепление полученных теоретических знаний и практических умений студентов; углубление и расширение их теоретических знаний; совершенствование исследовательских умений второкурсников; развитие самостоятельности, ответственности и организованности студентов.

Содержание учебного пособия соответствует требованиям Государственного образовательного стандарта к минимуму содержания и уровню подготовки выпускников по специальности 150106 – Обработка металлов давлением.

УДК 621.7

© Дубровская Е.Ю., 2013
© ФГБОУ ВПО «Магнитогорский
государственный технический
университет им. Г.И. Носова», 2013

СОДЕРЖАНИЕ

СОДЕРЖАНИЕ	3
ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА.....	4
ПЕРЕЧЕНЬ ПРАКТИЧЕСКИХ И ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ, ОБЯЗАТЕЛЬНЫХ ДЛЯ ЗАОЧНОЙ ФОРМЫ ОБУЧЕНИЯ	5
ВВЕДЕНИЕ	10
РАЗДЕЛ 1. ОСНОВЫ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ.	10
Тема 1.1 Сущность и природа пластической деформации.....	10
Тема 1.2 Силы и напряжения при обработке металлов давлением	11
Тема 1.3 Деформации	13
Тема 1.4 Сопротивление деформации.....	16
Тема 1.5 Пластичность	17
Тесты по разделу 1	19
РАЗДЕЛ 2 ОСНОВЫ ТЕОРИИ ОБРАБОТКИ МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ	20
Тема 2.1 Очаг деформации и его параметры.....	20
Тема 2.2 Внешнее трение	21
Тема 2.5 Уширение при обработке металлов давлением.....	25
Тема 2.6 Давление металла на инструмент.....	26
Тема 2.7 Расход энергии при обработке металлов давлением.....	40
Тема 2.8 Неравномерность деформации при прокатке	43
Тема 2.9 Особые случаи обработки металлов давлением	45
Тесты по разделу 2.....	49
ПЕРЕЧЕНЬ ЭКЗАМЕНАЦИОННЫХ ВОПРОСОВ ПО СПЕЦИАЛЬНОСТИ 150106 «ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ» ДИСЦИПЛИНЫ «ТЕОРИЯ ОМД»	51
КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА.....	53
ЛИТЕРАТУРА	72

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Дисциплина «Теория обработки металлов давлением» относится к циклу специальных и предусматривает изучение основ теории пластической деформации и обработки металлов давлением.

Знание данной дисциплины необходимо при изучении следующих дисциплин: «Сортопрокатное производство», «Листопрокатное производство», «Технологические процессы ОМД» и других.

При изучении данной дисциплины необходимо знать основы физики, математики, технической механики, сопротивления материалов, инженерной графики, материаловедения,

В результате изучения дисциплины студент должен:

- иметь представление: об основных научно-технических проблемах и перспективах развития технологии обработки металлов давлением в нашей стране и за рубежом;

- знать: механизм и физическую природу пластического формоизменения металла в процессе обработки его давлением; законы напряженно-деформированного состояния в пластически обрабатываемом металле; влияние различных факторов на поведение металла при пластической деформации; геометрию и кинематику очага деформации; условия захвата металла инструментом; методы определения контактных напряжений, усилий, крутящих моментов, мощности.

- уметь: обосновывать вид схем напряженного состояния при различных способах обработки металлов давлением и оценивать их влияние на качество и технологичность изделий; выбирать условия обработки, при которых металл будет иметь оптимальную пластичность; использовать типовые методики определения параметров технологического процесса с применением справочных данных, характеризующих взаимосвязь структуры и свойств обрабатываемых металлов и сплавов.

Учебное пособие отражает базовый уровень Государственного образовательного стандарта среднего профессионального образования. Учебным планом предусматривается проведение по данной дисциплине двух домашних контрольных работ и двух экзаменов.

ПЕРЕЧЕНЬ ПРАКТИЧЕСКИХ И ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ, ОБЯЗАТЕЛЬНЫХ ДЛЯ ЗАОЧНОЙ ФОРМЫ ОБУЧЕНИЯ

Лабораторные работы;

1. Получение наклепанного металла.
2. Проверка закона наименьшего сопротивления.
3. Определение параметров очага деформации.
4. Изучение влияния коэффициента трения на захват полосы валками.
5. Определение опережения керновым методом.

Практические работы:

1. Расчет усилия при горячей и холодной деформации.
2. Определение моментов при прокатке. Определение работы по диаграммам удельного расхода энергии.

3. Основные формулы и определения, необходимые при изучении данной дисциплины.

1. Угол захвата:

$$\alpha = \sqrt{\frac{\Delta h}{R}} \text{ (рад)} = 57,3^{\circ} \sqrt{\frac{\Delta h}{R}} \text{ (град)}$$

где: Δh - абсолютное обжатие;

R - радиус рабочего валка;

$57,3^{\circ}$ - градусы в одном радиане.

2. С точки зрения процессов, происходящих в металле, горячая прокатка сопровождается наклепом и рекристаллизацией, а холодная прокатка только наклепом.

3. Относительное обжатие определяется по формуле:

$$\varepsilon_h = \frac{\Delta h}{h_0} * 100 \%$$

где: Δh - абсолютное обжатие;

h_0 - толщина полосы до прокатки.

4. Опережение - явление, при котором скорость полосы на выходе из очага деформации немного больше окружной скорости валков (1-8%). Опережение определяется по формуле:

$$S_1 = \frac{V_n - V_b}{V_b} 100\%$$

где: V_n - скорость полосы при выходе из очага деформации,

V_b - окружная скорость валков.

5. Вытяжка по прокатке определяется по формуле:

$$\lambda = \frac{F_0}{F_1}$$

где: F_0 - площадь поперечного сечения раската до прокатки;

F_1 - площадь поперечного сечения раската после прокатки.

Физический смысл вытяжки: во сколько раз длина полосы увеличилась после прокатки.

6. Абсолютное обжатие определяется по формуле:

$$\Delta h = h_0 - h_1$$

где: h_0 - толщина полосы до прокатки;

h_1 - толщина полосы после прокатки.

7. Натяжение при прокатке определяется по формуле:

$$\sigma = (0.3 \div 0.8) \sigma_m$$

где: σ_m - предел текучести металла.

8. Момент прокатки определяется по формуле:

$$M_{пр} = 2Pa,$$

где: 2 - количество валков;

P - усилие прокатки;

a - плечо прокатки.

$$\alpha = \psi \sqrt{R \Delta h}$$

где: ψ - коэффициент формы (~ 0.5),

R - радиус валка;

Δh - абсолютное обжатие;

9. Очаг деформации:

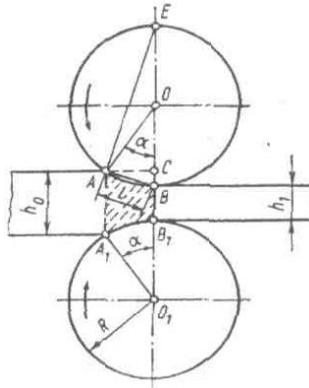


Рисунок 1.

α – угол захвата – центральный угол, определяющий положение металла в момент захвата металла валками; l – длина очага деформации; АВ – хорда.

10. Длина очага деформации:

$$l = \sqrt{R\Delta h}$$

где R - радиус валка,

Δh - абсолютное обжатие.

11. Длина раската после прокатки определяется по формуле:

$$l_1 = l_0 \lambda_1$$

где l_0 - длина раската до прокатки,

λ_1 - выпяжка в данном проходе.

12. При холодной прокатке структура металла становится строчечной.

13. Пластичность – свойство металла остаточно изменять свою форму без разрушения.

14. Уширение можно определить по формуле Бахтинова Б.П.;

$$\Delta b = 1.15 \frac{\Delta h}{2h_0} \left(\sqrt{R\Delta h} - \frac{\Delta h}{2\mu} \right)$$

где: Δh - абсолютное обжатие,

h_0 - толщина после прокатки,

R - радиус валка,

μ - коэффициент трения.

15. Площадь контактной поверхности определяется по формулам:

$$F_k = \frac{b_0 + b_1}{2} \sqrt{R\Delta h}$$

(при прокатке с уширением).

где: b_0 и b_1 - соответственно ширина полосы до и после прокатки,

R - радиус валка,

Δh - абсолютное обжатие;

$$F_k = b\sqrt{R\Delta h}$$

(при прокатке без уширения).

16. При прокатке холоднокатаных листов длина очага деформации определяется с учетом упругого сплющивания рабочих валков:

$$L_c = x_0 + \sqrt{R\Delta h + x_0^2}$$

где: x_0 - величина, на которую увеличивается длина очага деформации при упругом сплющивании валков.

17. При горячей прокатке коэффициент трения определяется по формуле:

$$\mu_y = \kappa_1 \cdot \kappa_2 \cdot \kappa_3 \cdot (1,05 - 0,0005 \cdot t)$$

где: κ_1 - показатель, учитывающий материал валков,

κ_2 - показатель, учитывающий скорость прокатки,

κ_3 - показатель, учитывающий марку стали,

t - температура металла.

18. Твердость окалины (FeO , Fe_2O_3 , Fe_3O_4) больше твердости металла.

19. Усилие прокатки определяется по формуле:

$$P = P_{\text{ср}} \cdot F$$

где: $P_{\text{ср}}$ - контактное давление,

F_k - площадь контактной поверхности.

20. Усилие прокатки - давление металла на валки, приходящееся на контактную поверхность, а контактное давление на единицу площади контактной поверхности - мм²

21. Мощность двигателя определяется по формуле:

$$N_{\text{деф}} = M_{\text{деф}} \cdot n / 0,975$$

где: $M_{\text{деф}}$ - момент деформации,

n - число оборотов валков.

4. Содержание дисциплины и тесты к разделам курса

Методические указания и контрольные задания для студентов-заочников образовательных учреждений среднего профессионального образования выполнены согласно примерной программы по дисциплине «Теория обработки металлов давлением», составленной в соответствии с Государственными требованиями к минимуму содержания и уровню подготовки выпускника по специальности 150106 «Обработка металлов давлением», утвержденными Министерством общего и профессионального образования Российской Федерации от 03 февраля 1997 г.

Действующим учебным планом по данной дисциплине предусмотрено выполнение одной контрольной работы на четвертом курсе.

Вариант домашней контрольной работы студент выбирает соответственно своему шифру. Работы, выполненные не по своему варианту, возвращаются студенту без проверки.

Учебная работа студента по освоению данной дисциплины включает изучение теоретического материала по литературным источникам, решение типовых задач, выполнение контрольных работ, лабораторных работ, сдачу зачетов и экзаменов.

Изучая материал каждой темы обязательно составлять конспект, в котором записывать основные положения и выводы. Целесообразно прослушать курс лекций по дисциплине «Теория обработки металлов давлением».

ем» и посещать консультации преподавателей.

Чтобы подготовиться к выполнению контрольных работ, следует после изучения соответствующих разделов программы разобрать примеры решения типовых задач. Для облегчения самостоятельной работы приведены несколько типовых задач с решениями.

При проведении лабораторных работ студент знакомится с экспериментальными методами определения параметров прокатки. После выполнения лабораторных работ и оформления отчетов по ним студент сдает зачет.

К выполнению контрольной работы студент должен приступать только после того, как изучен и освоен учебный материал по соответствующим разделам.

При выполнении контрольной работы должны соблюдаться следующие положения:

- ответы на вопросы должны отражать умение работать с технической литературой, анализировать и обобщать изучаемый материал. Материал необходимо излагать ясно и четко;
- ответы на вопросы должны сопровождаться иллюстрациями, выполненными в карандаше с соблюдением масштаба и сквозной нумерацией по всему тексту работы и сопровождаться подрисовочными надписями;
- в конце работы необходимо приводить список использованной литературы с указанием порядкового номера, автора, названия книги, издательства книги и года издания;
- при решении задач расчетные формулы необходимо приводить на отдельной строке, с обязательной расшифровкой условных буквенных обозначений и указанием их размерности. Окончательный результат вычисления следует приводить в системе СИ.

К экзамену по данной дисциплине допускаются студенты, имеющие зачет по лабораторным работам и предоставившие зачетную контрольную работу.

ВВЕДЕНИЕ

Изучая введение, следует обратить внимание на значение обработки металлов давлением в развитии отраслей промышленности и строительстве: методами обработки металлов давлением изготавливают ответственные детали турбин, станков, автомобилей, самолетов, ракет, атомных реакторов и других изделий массового потребления. Базой для всех технологических процессов ОМД является теория обработки металлов давлением. Исключительное значение имеет прокатка. В отличие от других видов обработки металлов давлением (ковки, волочения, прессования, штамповки) имеет целый ряд преимуществ: широкий сортамент, непрерывность процесса, высокие скорости процесса, возможность механизировать и автоматизировать процесс.

Литература: 1 - с. 6-7, 6 - с. 7-8, 15 - с. 7-8, 18 - с. 11 -23.

РАЗДЕЛ 1. ОСНОВЫ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ

Тема 1.1. Сущность и природа пластической деформации

Пластическая деформация лежит в основе прокатки, прессования,ковки, штамповки. Прокатка - деформация металла между двумя вращающимися в противоположных направлениях валками.

Характер пластической деформации металлов тесно связан с их кристаллическим строением. Для металлов характерны три типа кристаллических решеток: гранцентрированная кубическая, объемно-центрированная кубическая и гексагональная.

Деформация монокристаллов осуществляется путем скольжения по плоскостям наибольшей концентрации атомов или путем двойникования (смещение атомов одной части кристалла относительно плоскости двойникования на угол равный $180^\circ - 2\alpha$). В отличие от монокристаллов поликристаллы состоят из зерен по-разному ориентированных, поэтому пластическая деформация проходит не одновременно во всех зернах и преобладает внутрикристаллитная деформация, а не межкристаллитная деформация.

В процессе пластической деформации пол и кристаллов наряду с изменением формы и размеров металла происходят изменения структуры и свойств. В этой связи необходимо учитывать текстуру деформации (определенную ориентировку зерен), зависящую от степени деформации. Структурные изменения связаны с изменениями механических и физических свойств. Однако следует обратить внимание на то, что с нагревом металла до температуры О.ЗТ плавления и выше последствия пластической деформации частично или полностью исчезают.

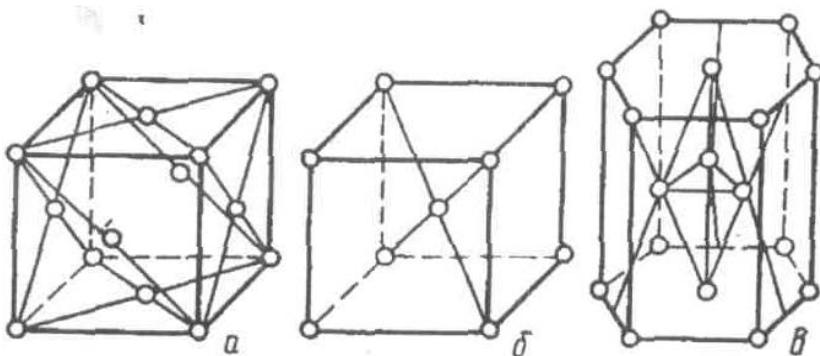


Рисунок 2. Кристаллические решетки, типичные для металлов:
 А - грани центрированный куб; б - объемно-центрированный куб; в - гексагональная решетка

Литература 1 - с. 8-26, 2 - с. 5-15, 20-33, 3 - с. 9-51, 4 - с. 89-150, 6- с. 68-95, 15 - с. 11-16.

Тема 1.2. Силы и напряжения при обработке металлов давлением

Внешние силы разделяют на активные и реактивные. Активные силы совершают деформацию, реактивные препятствуют перемещению частиц металла при деформации.

Внешние силы уравниваются силами внутренними, которые возникают вследствие отклонения атомов деформируемого тела от положения устойчивого равновесия. Между атомами твёрдого вещества действуют силы взаимного притяжения и отталкивания. У нагруженного твердого тела расстояния между атомами таковы, что силы притяжения и отталкивания взаимно уравновешены. Под действием внешней силы расстояние между атомами изменяется, одновременно изменяется соотношение между силами притяжения и отталкивания, появляется

внутренняя сила, уравнивающая

Величину внутренней силы в какой-либо плоскости можно определить, если мысленно отсечь этой плоскостью часть тела, находящегося под действием внешних сил, и, отбросив отсеченную часть, заменить ее действие на оставшуюся часть внутренней силой.

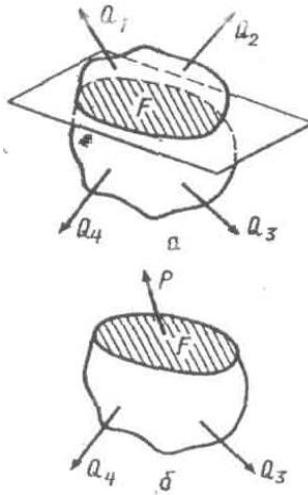


Рисунок 3 . Схема к определению внутренней силы:
 Q_1, Q_2, Q_3 и Q_4 - внешние силы; P - внутренняя сила в сечении F

Схема распределения внутренней силы показана на рисунке. На рисунке а показаны внешние силы и отсекающая плоскость. На рисунке б верхняя отсеченная часть тела отброшена и действие ее на оставшуюся часть заменено внутренней силой P . При определении внутренней силы имеется в виду, что величина и направление всех внешних и внутренних сил, действующих на оставшуюся часть тела, должны отвечать условиям равновесия.

Напряжением называют интенсивность внутренней силы, (часть внутренней силы, приходящуюся на единицу площади сечения). Если напряжения распределены по сечению равномерно, т.е. в любой точке сечения они одинаковы, то для определения S в какой-то точке сечения достаточно разделить внутреннюю силу P на площадь сечения F :

$$S = P/F$$

В действительности напряжения равномерно распределяются очень редко, и для определения напряжений в точке берут в ее окрестности небольшую площадку ΔP , в пределах которой напряжения можно считать равномерными, и действующую на нее внутреннюю силу ΔP делят на ΔP :

$$S = \Delta p / \Delta F$$

Наиболее точно напряжение в точке определяется по формуле:
 $S = \lim_{\Delta F \rightarrow 0} (\Delta p / \Delta F) = dp / dF$

Тема 1.3. Деформации

О величине деформации судят по изменению размеров деформируемого тела, причем существует несколько вариантов характеристик. Ознакомимся с ними на простейшем примере деформации параллелепипеда.

Длина L_0 , ширина b_0 , толщина h_0 (а после деформации соответственно L_1, b_1, h_1). Допустим, что в процессе деформации толщина бруса уменьшилась, а длина и ширина увеличилась, тогда деформацию можно характеризовать следующими показателями.

Абсолютные деформации:

Обжатие $\Delta h = h_0 - h_1$

Удлинение $\Delta L = L_1 - L_0$

Уширение $\Delta b = b_1 - b_0$

Абсолютные показатели неполно характеризуют величину деформации, так как не учитывают размеры деформируемого изделия.

Например, обжатие в 5 мм будет большим при исходной толщине 10 мм, но незначительным при исходной толщине 100 мм. В этом отношении более удобны относительные показатели, часто называемые степенью деформации. Такие показатели могут быть трех видов.

Относительные деформации первого вида:

относительное обжатие

$$\varepsilon_h = (h_0 - h_1) / h_0 = \Delta h / h_0$$

относительное уширение

$$\varepsilon_b = (b_1 - b_0) / b_0 = \Delta b / b_0$$

относительное удлинение

$$\varepsilon_L = (L_1 - L_0) / L_0 = \Delta L / L_0$$

Относительные деформации второго вида. В отличие от деформации первого вида абсолютные деформации относятся здесь не к исходным, а к конечным размерам деформируемого тела.

$$\varepsilon'_h = \Delta h / h_1 \quad \varepsilon'_b = \Delta b / b_1 \quad \varepsilon'_L = \Delta L / L_1$$

Часто относительные деформации отражают в процентах:

$$\varepsilon_h = (\Delta h / h_1) 100\% \quad \varepsilon_b = (\Delta b / b_1) 100\% \quad \varepsilon_L = (\Delta L / L_1) 100\%$$

$$\varepsilon'_h = (\Delta h / h_1) 100\% \quad \varepsilon'_b = (\Delta b / b_1) 100\% \quad \varepsilon'_L = (\Delta L / L_1) 100\%$$

Коэффициент деформации. Коэффициентами деформации называют отношение размеров тела, полученных после деформации к соответствующим размерам до деформации.

Для рассматриваемого случая имеем:

Коэффициент обжатия $\eta = h_1/h$
 коэффициент удлинения (вытяжка) $\lambda = L_1/L_0$
 коэффициент уширения $\beta = b_1/b_0$

Пример 1. Полоса размером 80x500x2500 мм прокатана с обжатием 20 мм и уширением 5 мм. Необходимо определить размеры полосы после прокатки.

Решение.

Высота полосы после прокатки

$$h_1 = h_0 - \Delta h = 80 - 20 = 60 \text{ мм,}$$

Ширина полосы после прокатки

$$b_1 = b_0 + \Delta b = 500 + 5 = 505 \text{ мм;}$$

Используя соотношение

$$h_0 b_0 L_0 = h_1 b_1 L_1$$

определим длину полосы после прокатки

$$L_1 = \frac{h_0 b_0 L_0}{h_1 b_1} = \frac{80 * 500 * 2500}{60 * 505} = 3300 \text{ мм}$$

Для проверки используем выражение закона через коэффициенты деформации

$$\frac{L}{\eta} = \lambda \mu \quad \frac{80}{60} = \frac{505}{500} = \frac{330}{2500} \quad 1,33 = 1,33$$

Пример 2. На стане прокатывают заготовку размерами 100x200x1000 мм, размеры полосы после 1-го прохода 80x210 мм, после 2-го прохода 60x230 мм. Определить длину полосы после каждого прохода и коэффициенты деформации. Проверить свойство аддитивности истинных и условных относительных деформаций.

Решение

Абсолютное обжатие

$$1\text{-й проход } \Delta h_1 = h_0 - h_1 = 100 - 80 = 20 \text{ мм}$$

$$2\text{-й проход } \Delta h_2 = h_1 - h_2 = 80 - 60 = 20 \text{ мм}$$

Относительное обжатие условное

$$1 \text{ проход } \varepsilon_{h_1} = \Delta h_1 / h_0 = 20 / 100 = 0,20 (20\%)$$

$$2 \text{ проход } \varepsilon_{h_2} = \Delta h_2 / h_1 = 20 / 80 = 0,25 (25\%)$$

Относительное обжатие истинное

$$1\text{-й проход } \varepsilon''_h = l_n \frac{h_1}{h_0} = -0,221$$

$$2\text{-й проход } l''_1 = l_n \frac{h_2}{h_1} = -0,286$$

Пример 3. На мелкосортном стане 250 прокатывают круглую сталь

диаметром 18 мм из заготовки размерами 80x80x11500мм. Средняя вытяжка за проход составляет 1,28. Определить длину готового проката и число проходов, необходимое для прокатки.

Решение.

Площадь поперечного сечения готовой полосы

$$F_n = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{\pi 18^2}{4} = 254 \text{ мм}^2$$

Общий коэффициент вытяжки

$$\mu_{i\text{дв}} = \frac{F_0}{F_n} = \frac{80 \cdot 80}{254} = 25.2$$

Длина готовой полосы

$$l_n = l_0 / \mu_{\text{общ}} = 11500 / 25.2 = 11.5 \cdot 25.2 \cdot 10^5 = 290000 \text{ мм} = 290 \text{ м}$$

Необходимое число проходов

$$n = \frac{\lg \mu_{i\text{дв}}}{\lg \mu_{\text{пр}}} = \frac{\lg 25.2}{\lg 1.28} = \frac{1.400}{0.107} = 13.1$$

Принимаем $n=13$.

Под действием внешних сил в теле первоначально возникают упругие деформации, характеризующиеся упругими отклонениями атомов от положения устойчивого равновесия.

Упругая деформация исчезает после удаления причины, ее вызывающей, при этом атомы деформированного металла возвращаются в исходное положение устойчивого равновесия.

Упругая деформация возможна лишь до определенного предела, после которого начинается пластическая деформация.

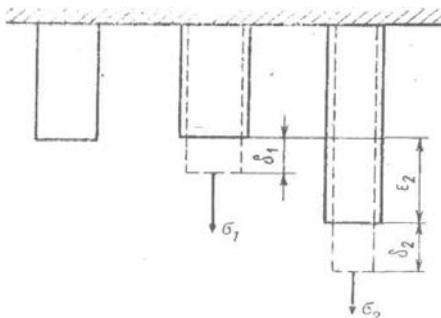


Рис.4. Схема упругой и пластической деформации образца растяжением: А – исходный образец; б – схема упругой деформации; В – схема пластической деформации.

Литература: 1 -с. 36-50, 2-е. 11-55,3 -с. 51-58, 111-122, 168-172, 6-с. 24-39. 13-с. 16-29, 12-с. 24-27, 15-с. 20-25.

Тема 1.4. Сопротивление деформации

Сопротивление деформации – лишь часть общего сопротивления деформирующим силам. В процессе деформации активная сила преодолевает не только сопротивление перемещению частиц металла, но и сопротивление реактивных сил, например контактного трения, подпирающего действия стенок инструмента и др.

Характеристику, подобную сопротивлению деформации, но учитывающую влияние напряженного состояния, в дальнейшем будем называть общим сопротивлением деформации и обозначать p_{cp} . При деформации сжатием общее сопротивление деформации обычно называют средним контактным давлением.

Среднее контактное давление является одним из важнейших параметров таких процессов обработки давлением, как ковка, прокатка, пресование, волочение. Оно берется за основу при определении усилий деформации, необходимой прочности деталей машин и мощности их привода.

Общее сопротивление деформации зависит от природы деформируемого металла, температуры, степени деформации, скорости деформации и напряженного состояния. Определенное опытом значение среднего контактного давления можно использовать для расчетов только в том случае, если действие факторов, влияющих на его величину в условиях рассчитываемого процесса и в условиях опыта, будет совершенно одинаковым. Такое требование практически удовлетворить трудно, поэтому значения среднего контактного давления, полученные опытным путем, имеют ограниченную применимость. При определении среднего контактного давления по формулам влияние различных факторов учитывается введением в формулы поправочных коэффициентов, получаемых на основании опытов или теории.

В связи с большим числом и разнообразием действующих факторов формулы для определения общего сопротивления деформаций также многочисленны и разнообразны. В наиболее общем виде формулу можно записать так:

$$P_{\bar{\sigma}} = \sigma_{\delta} * n_{\sigma}$$

где σ_{δ} — сопротивление деформации, характеризует свойства деформируемого металла (иногда обозначается $2K$): n_{σ} - коэффициент, учитывающий влияние напряженного состояния.

В свою очередь величины σ_{δ} и n_{σ} могут быть представлены в виде произведений

$$\sigma_{\delta} = \sigma_{\delta} n_1 \delta_A n_{\varepsilon}$$

$$n_{\sigma} = n' \sigma n'' \sigma n''' \sigma$$

Литература: 1-е. 50-61; 2-е. 43-46; № 4-с. 65-72; 6-с. 95-106; 15-с. 174-180; 165-с. 124-126.

Тема 1.5. Пластичность

Пластичность – способность воспринимать остаточную информацию без разрушения. Иногда ошибочно отождествляет высокую пластичность и низкое сопротивление деформации. Действительно, многие легкодеформируемые металлы обладают хорошими пластическими свойствами, но это не является общей закономерностью, так, например, хрупкий чугун обладает более низким сопротивлением деформации, чем многие легированные стали, допускающие значительные пластические деформации.

Пластичность и сопротивление деформации — это разные, не зависящие одна от другой характеристики твердых тел.

Способность пластически изменять форму присуща всем, твердым телам, но у некоторых из них она ничтожно мала и проявляется только при деформации в особых условиях; такие тела называют хрупкими (стекло, керамика, твердые горные породы). У других твердых веществ, например у металлов и пластмасс, способность к пластической деформации сильно развита, такие вещества называют пластичными.

Пластичность зависит от химического состава и структурного строения металла, температуры и скорости деформации, степени наклепа и условий напряженного состояния при деформации.

Чистые металлы обладают хорошей пластичностью; примеси, как правило, снижают пластичность, причем примеси, образующие с металлом твердые растворы, снижают пластичность меньше, чем примеси, не растворяющиеся в нем. Особенно заметно снижают пластичность примеси, выпадающие при кристаллизации по границам зерен. Наклеп понижает пластичность металлов. При нагреве металла увеличивается его пластичность. При очень низких температурах (близких к абсолютному нулю) все металлы становятся хрупкими. Даже при температурах от -30 до -40°C пластичность металла заметно, понижается, и это учитывают при изготовлении конструкций и деталей машин, предназначенных для работы в суровых климатических условиях.

При нагреве металла повышается подвижность атомов, ускоряются процессы отжига и рекристаллизации, появляются новые системы

скольжения, все это положительно сказывается на пластичности. Однако влияние температуры не имеет постоянного, плавного характера. Существуют температурные интервалы, различные для разных металлов, в которых наблюдается падение пластичности, связанное большей частью с влиянием примесей.

В углеродистой стали, например, обнаруживается заметное снижение пластичности при 300—400°С, называемое синеломкостью, вследствие выделения мельчайших частиц карбидов по плоскостям скольжения. Большое влияние на пластичность оказывает характер напряженного состояния. По существующим в теории обработки металлов давлением взглядам, пластическая деформация происходит под действием сдвигающих напряжений, а хрупкое разрушение вызывается нормальными напряжениями растяжения.

Сдвигающие напряжения возникают вследствие разности главных напряжений, которая может быть получена при действии напряжений растяжения, сжатия или одновременном действии напряжений разного знака.

Возрастание в общей схеме напряженного состояния напряжений сжатия увеличивает пластичность. В условиях резко выраженного всестороннего сжатия удавалось пластически деформировать такие хрупкие материалы, как мрамор и песчаник. Цилиндрические образцы песчаника и мрамора подвергали осадке в специальном контейнере, создавая осевое усилие бойком пресса, а боковое давление — нагнетанием глицерина в испытательную камеру. Остаточная деформация при осадке мрамора в таких условиях достигла 78%.

С другой стороны, возрастание роли напряжений растяжения при деформации приводит к снижению пластичности. В условиях всестороннего растяжения с малой разностью главных напряжений, когда касательные напряжения недостаточны для начала пластической деформации или вообще отсутствуют, даже самые пластичные материалы претерпевают хрупкое разрушение.

Влияние напряженного состояния на пластичность можно оценивать по величине гидростатического давления. Гидростатическим давлением называют среднюю алгебраическую величину трех главных напряжений:

$$\sigma_r = -(\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3) / 3$$

Напряжения $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ в формулу необходимо подставлять с учетом их знака: напряжения растяжения (+), сжатия (—),

Литература: 1-е. 67-74; 2-е. 31-36; 4-с. 79-88; 6-с. 106-122; 12-с. 217-224; 15-с. 26-32.

Тесты по разделу 1

1. Вставьте пропущенные слова в определение: Деформация металла между вращающимися в противоположных направлениях валками называется....

2. Определите вытяжку металла при прокатке:

Исходная длина полосы 10000 мм, абсолютное удлинение при прокатке 20000мм.

3. Начертите схемы главных деформаций.

4. Установите соответствие между столбцами:

1 $\varepsilon_h =$ А. $\lambda - 1$;

2 $\varepsilon_h =$ Б. $\beta - 1$

3 $\varepsilon_h =$ В. $1 - \eta$

5. Дополните определение:

Поворот одной части..... в положение зеркально-симметричное другой его части называется.....

6. Начертите схемы лилейного напряженного состояния.

7. Дополните предложение:

При пластической..... объем металла.....

8. Вставьте пропущенные слова.

Деформацию совершают..... силы, а силы препятствуют перемещению частиц металла при деформации.

9. Что произойдет с уширением, если при некотором постоянном обжатии увеличить диаметр валков?

10. Какой должна стать высота раската, если толщина подката 200мм, а обжатие при прокатке 20%?

11. Вставьте пропущенные слова в определение. Способность твердых тел..... изменять свою форму без..... называется.....

12. Установите соотношение между столбцами:..

1. Гранцентрированный куб; А. Пластичные металлы;

2. Объемно-центрированный куб. Б. Менее пластичные металлы

13. Начертите схемы объемного напряженного состояния.

14. Установите соответствие между столбцами:

1. $\lambda =$ А. $\frac{b_1}{b_0}$

2. $\beta =$ Б. $\frac{h_1}{h_0}$

3. $\eta =$ В. $\frac{F_0}{F_1}$

15. Дополните предложение:

Протягивание металла через..... отверстие называется....

РАЗДЕЛ 2. ОСНОВЫ ТЕОРИИ ОБРАБОТКИ МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ

Тема 2.1. Очаг деформации и его параметры

Проходящая между валками полоса деформируется не по всему объему одновременно, а только на некотором участке. Этот участок называют очагом деформации. Очаг деформации можно разделить на три зоны. Основная (контактная) зона ограничена поверхностями контакта полосы с валками, плоскостью входа в валки $A-A_1$ и плоскостью выхода из валков $B-B_1$. К основной зоне со стороны переднего и заднего концов примыкают две внешние зоны (зоны внеконтактной деформации). Размеры внешних зон и характер деформации в них еще мало изучены, поэтому под термином - очаг деформации обычно понимают его основную зону, имея при этом в виду существование внешних зон и при необходимости учитывая их действие.

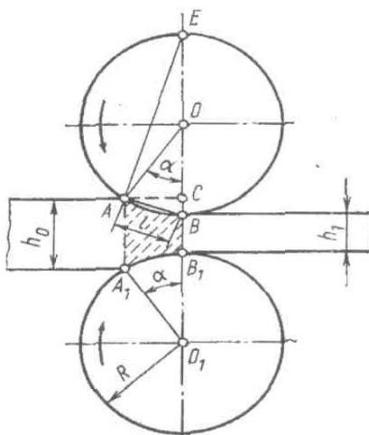


Рисунок 5. К определению параметров очага деформации.

При прокатке прямоугольной полосы в цилиндрических валках одинакового диаметра очаг деформации можно характеризовать следующими геометрическими параметрами: 1) h_0 —толщина полосы до прохода, h_1 — толщина полосы после прохода, $\Delta h = h_0 - h_1$ - абсолютное обжатие, $h_c = (h_0 + h_1)/2$ средняя высота очага деформации;

2) b_0 - ширина полосы до прохода, b_1 - ширина полосы после прохода, $b_c = (b_0 + b_1)/2$ — средняя ширина очага деформации или средняя ширина контактной поверхности;

- 3) R — радиус валка;
 - 4) l — длина контактной поверхности, l_x — горизонтальная проекция длины контактной поверхности (вертикальная ее проекция равна $0,5\Delta h_c$);
 - 5) α — угол захвата;
 - 6) F — площадь контактной поверхности.
- Литература: 1-е. 74-79; 14-99; 2-е. 59-61; 5-с. 10-17; 6-с. 191-193; 8-с. 114-123; 11-с. 173-174; 15-с. 46-48; 16-с. 15-16.

Тема 2.2. Внешнее трение

С действием трения связаны все основные явления прокатки. Благодаря силам трения происходит захват полосы валками. Величина обжатия зависит от угла захвата, который в свою очередь связан с коэффициентом трения. Таким образом, коэффициент трения влияет на величину обжатия, на производительность прокатных станов.

С точки зрения условий захвата (и только с этой точки зрения) выгодно иметь наибольший коэффициент трения металла о валки. Значительно влияет трение на распределение деформации в продольном и поперечном направлениях, на величину вытяжки и уширения. Большое влияние трение оказывает на напряженное состояние прокатываемой полосы и в связи с этим на контактные нормальные напряжения. Увеличение трения на контактных поверхностях всегда сопровождается возрастанием контактных нормальных напряжений что нежелательно, так как связанный с этим рост усилия прокатки требует увеличения прочности деталей прокатного стана, увеличивает их упругие деформации, снижая точность прокатки и повышает расход энергии на прокатку.

Отрицательное влияние трения сильно возрастает при уменьшении толщины прокатываемой полосы, поэтому прокатку тонких и тончайших полос предпочитают вести в холодном состоянии, уменьшая трение, тщательно обрабатывая поверхности валков и применяя качественные смазки. Смазка поверхности полосы при прокатке способствует увеличению вытяжки, так как снижает сопротивление деформации прокатываемого металла и упругие деформации прокатного стана.

Трение при прокатке всегда сопровождается износом рабочих поверхностей валков и арматуры стана, а нередко и налипанием прокатываемого металла на эти поверхности. Как износ, так и налипание приводят к образованию царапин, рисок и вмятин на поверхности проката, снижая его качество, и нередко приводят к образованию брака. Для уменьшения нагрузок на оборудование, мощности прокатки, улучшения качества поверхности проката целесообразно всемерное снижение коэффициента трения.

Приближенное значение коэффициента трения можно определять расчетом по эмпирическим формулам. С. Экелундом предложена формула для определения коэффициента трения при установившемся процессе горячей прокатки стали (температура металла $>700^{\circ}\text{C}$):

$$\mu_y = \kappa_1(1,05 - 0,0005 \cdot t)$$

где κ_1 — коэффициент, учитывающий материал валков; для стальных валков $\kappa_1 = 1,0$, для чугунных валков $\kappa_1 = 0,8$; t — температура прокатываемого металла, $^{\circ}\text{C}$.

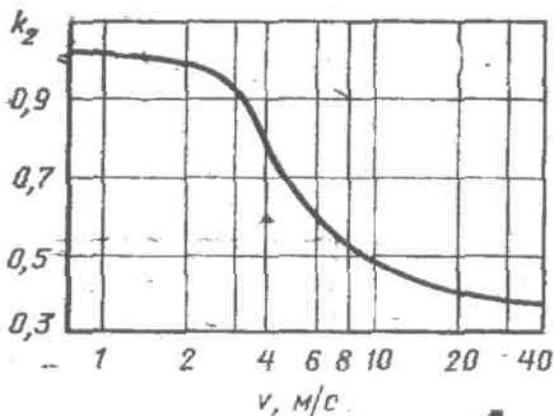


Рисунок 6. Значение K_2 для расчета коэффициента трения.

Ввиду того, что на коэффициент трения значительное влияние оказывает скорость прокатки и химический состав прокатываемой стали, Б. П. Бахтинов и М. М. Штернов ввели в формулу С. Экелунда поправочные коэффициенты K_2 и K_3 . Коэффициент K_2 учитывает влияние окружной скорости валков и определяется по графику. Коэффициент K_3 учитывает влияние химического состава прокатываемой стали определяется по таблице. Для определения коэффициента трения при горячей прокатке с учетом поправок Б. П. Бахтинова и М. Штернова результат, полученный по формуле умножают на коэффициенты K_2 и K_3

Коэффициенты трения μ_y при холодной прокатке стали, полученные методом обратного расчета, — показаны на рис. в зависимости от скорости прокатки и рода применяемой смазки. В табл. приведены значения коэффициента трения μ_y при холодной прокатке различных металлов с малыми скоростями.

Металл	Без смазки	Керосин	Минеральное масло
Сталь 10 кп	0,16-0,24	0,12-0,14	0,08-0,10
Медь	0,16-0,20	0,10-0,12	0,8-0,10
Алюминий	0,16-0,24	0,08-0,12	0,06-0,07
Латунь (наклепанная)	0,10-0,12	0,4	0,5
Цинк	0,20-0,24	0,10-0,12	-

Литература: 1-е. 96-108; 2-е. 69-98; 4-с. 151-170; 5-с. 25-33; 8-с. 123-128; 13-с. 126-136; 15-с. 59-66; 16-с. 109-115; 17-с. 223-247.

Тема 2.3 Захват металла валками

При соприкосновении полосы с валками каждый из них действует на полосу с силой N , направленной по нормали к поверхности валка, и силой трения T , направленной по касательной (с целью упрощения силы, действующие со стороны нижнего валка, на рисунке не показаны).

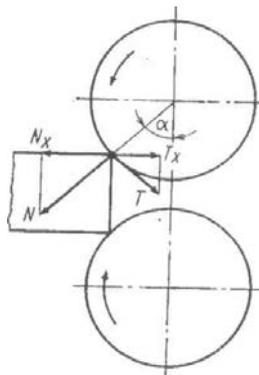


Рисунок 8. Схема действия сил на полосу в начальный момент

Как известно, сила трения определяется по формуле:

где μ_3 - коэффициент трения при захвате;

β_3 — угол трения при захвате, т.е. $\operatorname{tg}\beta_3 = \mu_3$. Рассмотрим условия захвата полосы валками и ее прокатки. Проектируя силы N и T , действующие на полосу в момент соприкосновения ее с валками, на горизонтальную ось, получим силы M_x и T_x , действующие на полосу в противоположных направлениях. Сила T_x втягивает полосу в валки, сила N_x выталкивает ее. Очевидно, захват полосы валками произойдет при $T_x \geq N_x$,

но $T_x = T \cos \alpha$ и $N_x = N \sin \alpha$, следовательно, $T \cos \alpha \geq N \sin \alpha$. Заменяв T получим $N \mu \cos \alpha \geq N \sin \alpha$. Сократив обе части этого неравенства на N и разделив их на $\cos \alpha$, получим условие захвата полосы валками:

$$\mu_c \geq \operatorname{tg} \alpha \quad \operatorname{tg} \beta_c \geq \operatorname{tg} \alpha \quad \text{или} \quad \beta_c \geq \alpha$$

Следовательно, захват полосы валками произойдет только тогда, когда тангенс угла захвата будет меньше коэффициента трения или, что то же самое, когда угол захвата будет меньше угла трения.

Литература: 1-е. 79-84; 2-е. 61-68; 4-с. 298; 6-с. 193-194; 15-с. 49-51; 16-с. 33-50; 17-с. 49-51.

Тема 2.4. Опережение отставание

При прокатке скорость входа металла в валки меньше их окружной скорости ($v_0 < v_B$). Это явление называют отставанием. Скорость металла при выходе из валков больше их окружной скорости ($v_0 > v_B$). Это явление называют опережением.

Отставание и опережение принято подсчитывать как относительную величину или в процентах. При известных скоростях входа и выхода металла из валков, а также окружной скорости валков отставание и опережение можно определить по следующим формулам:

$$S_0 = (v_B \cdot v_0) / v_B \quad S_1 = (v_1 \cdot v_B) / v_B$$

S_0 — отставание; S_1 — опережение; v_B — окружная скорость валков; v_0 — скорость входа металла в валки (по касательной к поверхности валков); v_1 — скорость выхода металла из валков.

Наибольший практический интерес представляет величина опережения. Особенно важно знать ее при непрерывной прокатке, когда скорость входа полосы в следующую клеть определяется скоростью выхода ее из предыдущей клетки. В связи с этим представляет интерес соотношение между скоростью выхода металла из валков и скоростью входа его в валки. Это соотношение можно вывести из условия постоянства секундных объемов. Приняв секундный объем в плоскости входа в очаг деформации равным секундному объему в плоскости входа из очага деформации, получим $h_0 b_0 v_0 = h_1 b_1 v_1$, где v_0 — горизонтальная скорость полосы на входе в очаг деформации, откуда $v_1 / v_0 = h_0 b_0 / h_1 b_1$ или $v_1 / v_0 = \lambda$

где λ - коэффициент вытяжки.

При прокатке листов, когда ширина их практически не изменяется, имеем

$$v_1 / v_0 = h_0 / h_1 = \eta$$

где η — коэффициент деформации по толщине.

Итак, скорость выхода металла из валков во столько раз больше

скорости входа его в валки, во сколько раз уменьшается поперечное сечение за проход.

Литература: 1-е. 90-96; 2-е. 98-114; 4-с. 299-300; 5-с. 17-19; 6-с. 194-196; 1 5-с. 53-55; 1 6-с. 69-77.

Тема 2.5. Уширение при обработке металлов давлением

При прокатке полоса обжимается по высоте и увеличивается по ширине и длине. В практических расчетах часто требуется определить размеры полосы после прокатки при заданных размерах исходной заготовки или наоборот, требуется определить размеры исходной заготовки для прокатки готового профиля определенных размеров. Связь между размерами исходной заготовки и размерами готового профиля определяется законом постоянства объема: $h_0 b_0 L_0 = h_1 b_1 L_1$. Допустим известны h_0, b_0 и L_0 , требуется определить размеры полосы после прохода h_1, b_1, L_1 . Толщину h_1 можно установить, по своему усмотрению, задав необходимое расстояние между валками. Остаются неизвестными b_1 и L_1 . Если определить одну из этих величин, то задача будет полностью решена.

Обычно сначала определяют ширину b_1 , пользуясь уравнениями (формулами) уширения. При заданной величине h_1 (или $\Delta h = h_0 - h_1$) изменения ширины и длины могут быть различны в зависимости от ряда факторов, но они взаимно связаны условием постоянства объема. При уменьшении уширения вытяжка неизбежно увеличивается и при отсутствии уширения ($b_0 = b_1$) достигает предельного значения:

$$L_1 / L_0 = h_0 / h_1$$

Обычно уширение определяется как абсолютное изменение размеров полосы по ширине, мм; $\Delta b = b_1 - b_0$.

Наиболее правильную характеристику деформации полосы в поперечном направлении дает величина относительного уширения:

$\varepsilon_2 = (b_1 - b_0) / b_0 = b_1 / b_0$ - на практике этой величиной почти не пользуются, теоретические и эмпирические формулы дают возможность определить величину абсолютного уширения Δb .

Широкое распространение получила формула Б. П. Бахтинова

$$\Delta b = [1.15 \Delta h / (2 h_0)] \sqrt{R \Delta h} - 0.5 \Delta h / \mu_y$$

Весьма проста формула Э. Зибеля, учитывающая влияние на уширение обжатия и диаметра валков:

$$\Delta b = (0.3 \div 0.4) (\Delta h / h_0) \sqrt{R \Delta h}$$

Тема 2.6 Давление металла на инструмент

Полное усилие прокатки P – геометрическая сумма силы N (равнодействующей нормальных сил, действующих на валок) и силы T (геометрической суммы сил трения в зоне отставания T_1 и в зоне опережения T_2). На рис.9 силы P приложены к валкам в точках C и C' , и расположенных на одинаковом расстоянии от линии, соединяющей центры валков. Такое приложение характерно для симметричного процесса прокатки, когда оба валка — приводные, имеют одинаковые диаметры и окружные скорости, а металл по своим механическим свойствам однороден. Со стороны валков на прокатываемую полосу действуют точно такие же, но противоположно направленные силы. Если на полосу не действуют какие-либо другие силы, кроме сил, приложенных от валков, то по условию равновесия силы P должны быть направлены вертикально.

Величину усилия прокатки можно рассчитать или непосредственно измерить на прокатном стане. При аналитическом определении усилия прокатки нужно среднее контактное напряжение, или (как будем называть его далее) контактное давление, p_{cp} умножить на горизонтальную проекцию P_k поверхности контакта:

$$P = p_{cp} F_x$$

Но в большинстве расчетов контактное давление умножают на площадь контактной поверхности F

$$P = p_{cp} F$$

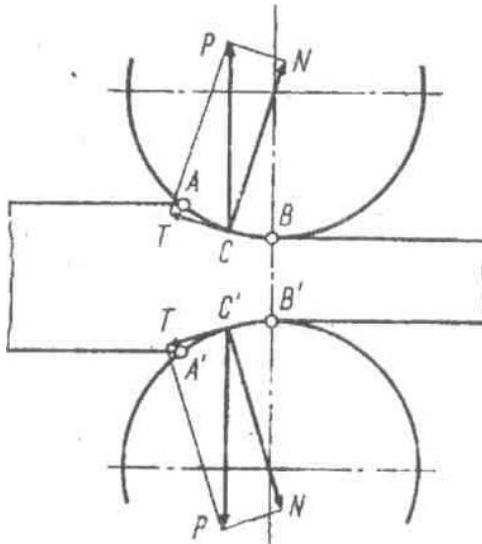


Рисунок. 9. Схема действия сил со стороны металла на валки

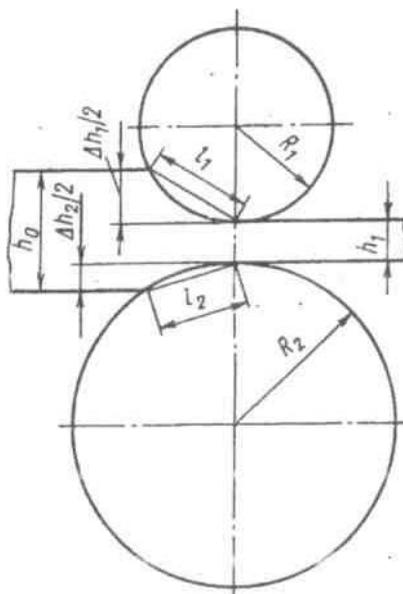


Рисунок 10. К определению длины контактной поверхности при прокатке в валках разного диаметра

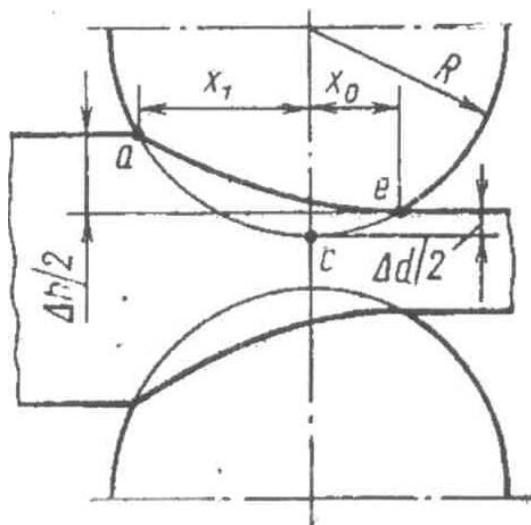


Рисунок 11. Определение длины контактной поверхности с учетом сплющивания валков

Допускаемая при этом ошибка невелика, а расчет несколько упрощается.

При прокатке в валках разного диаметра длина контактной поверхности определяется по формуле

$$t = \sqrt{(\Delta h)2R_1R_2 / (R_1 + R_2)} \quad (1)$$

Формула выводится на основании предположения, что контактное давление на поверхности контакта с большим и малым валками одинаковы. Так как по условию равновесия сил, действующих на полосу, усилия прокатки, действующие на верхний и нижний валки, должны быть равны, то площади контактных поверхностей и длина этих поверхностей на верхнем и нижнем валках должны быть одинаковы, т. е. $t_1=t_2$. В соответствии с рис.

$$t_1 = \sqrt{R_1\Delta h_1} \quad \text{и} \quad t_2 = \sqrt{R_2\Delta h_2}$$

Учитывая равенство t_1 и t_2 , $R_1\Delta h_1 = R_2\Delta h_2$ или $\Delta h_1 = (R_2/R_1)\Delta h_2$

Но $\Delta h_1 + \Delta h_2 = 2\Delta h$ и $\Delta h_1 = 2\Delta h$, где $\Delta h_1 = h_0 - h_1$

Заменив в выражении Δh_1 , получим $2\Delta h - \Delta h_2 = (R_2/R_1)\Delta h_2$ откуда $\Delta h_2 = (\Delta h)2R_1 / (R_1 + R_2)$. Подставив полученное значение Δh_2 в выражение для t_2 получим формулу (1) для определения длины контактной поверхности при прокатке в валках разного диаметра.

При прокатке тонких полос, в частности при холодной прокатке, длина контактной поверхности определяется с учетом упругого сплющивания (радиального сжатия) валков. Радиальное сжатие валков приводит к увеличению длины контактной поверхности и смещает плоскость выхода полосы из валков от линии центров на некоторое расстояние x_0 (рис. 11). Длина контактной поверхности определяется суммой $t_c = x_1 + x_0$

Допустив, что x , равно хорде дуги a_c , а x_0 — хорде дуга и поверхности для симметричного процесса получим d

$$\sqrt{R(\Delta h + \Delta d)} = \sqrt{R\Delta h + R\Delta d} \quad (2)$$

Так как $x_0 = \sqrt{R\Delta d}$, заменив $R\Delta d$ и на x_0^2 и подставив в выражение, определяющее x_1 а затем полученное значение в уравнение (2),

$$\text{найдем } t_c = x_0 + \sqrt{R\Delta h + x_0^2}$$

Этой упрощенной формулой чаще всего пользуются при определении длины контактной поверхности с учетом сплющивания валков.

Пример расчета усилия при горячей прокатке

Определить усилие при горячей прокатке, если известны следующие исходные данные: валки с гладкой бочкой, чугунные, $D = 350$ мм. Число оборотов валков $n_B = 240$ об/мин. Прокатываемый металл – сталь

45. температура металла при прокатке 1100 °С. Размеры прокатываемой полосы прямоугольного сечения: до прохода $h_0 = 33$ мм, $b_0 = 42$ мм; после прохода $h_1 = 23$ мм, $b_1 = 46$ мм.

Из марочника сталей находятся следующие данные для стали – 45:
 С 0,42÷0,50 %, Мп 0,50÷0,80 %, Cr 0,25 %.

Абсолютное обжатие:

$$\Delta h = h_0 - h_1;$$

$$\Delta h = 33 - 23 = 10 \text{ мм};$$

Длина контактной поверхности очага деформации:

$$l = \sqrt{R\Delta h};$$

$$l = \sqrt{175 \cdot 10} = 41,8 \text{ мм}$$

Средние значения высоты и ширины:

$$h_c = 0,5(h_0 + h_1);$$

$$h_c = 0,5(33 + 23) = 28 \text{ мм};$$

$$b_c = 0,5(b_0 + b_1);$$

$$b_c = 0,5(42 + 46) = 44 \text{ мм}$$

Площадь контактной поверхности:

$$F = b_c l = 0,5(b_0 + b_1) \sqrt{R\Delta h};$$

$$F = 0,5(42 + 46) \sqrt{175 \cdot 10} = 1840 \text{ мм}^2$$

Скорость прокатки:

$$v = \pi D \frac{n_B}{60},$$

где диаметр вала, D надо перевести из миллиметров в метры, т.е.
 $D = 350 \text{ мм} = 0,35 \text{ м}$

$$v = 3,140,35 \frac{240}{60} = 4,4 \text{ м/с}$$

Усилие прокатки определить тремя методами:

1. По методу А.И. Целикова

Скорость деформации

$$u = \frac{v\Delta h}{l \cdot 10^{-3} \cdot h_0};$$

$$u = \frac{4,4 \cdot 10}{41,8 \cdot 10^{-3} \cdot 33} = 31,8 \text{ с}^{-1}$$

Для температуры металла 1100 °С и скорости деформации $u = 31,8 \text{ с}^{-1}$ сопротивление деформации по экспериментальным кривым (рис. 1) σ_Φ

= 10,5 кгс/мм².

Коэффициент трения:

$$\mu_y = k_1 k_2 k_3 (1,05 - 0,0005t),$$

где k_1 – коэффициент, учитывающий материал валков; для стальных валков $k_1=1,0$ для чугунных валков $k_1=0,8$;

k_2 – коэффициент, учитывающий влияние окружной скорости валков, определяется по графику (рис. 2);

k_3 – коэффициент, учитывающий влияние химического состава прокатываемой стали, определяется по таблице 1

t – температура прокатываемого металла, °C

$$\mu_y = 0,80,731,0(1,05 - 0,00051100) = 0,24$$

Коэффициент, учитывающий влияние ширины полосы:

$$n_b = n'_b n''_b,$$

где n'_b – коэффициент определяется в зависимости от отношения b_c/l :

если $b_c/l \leq 1,0$, то $n'_b = 1,0$;

если $b_c/l > 5,0$, то $n'_b = 1,15$;

если $b_c/l = 1,0 \div 5,0$, то n'_b определяется по графику (рис. 3)

В нашем случае, $b_c/l = \frac{0,5(b_0 + b_1)}{l} = \frac{0,5(42 + 46)}{41,8} = 1,05$ можно

принять по графику (рис. 3) равным 1,0 коэффициент n''_b определяется по формуле:

$$n''_b = \frac{1 + \frac{(3b_c - l)\mu_y l}{6b_c h_c}}{1 + \frac{0,5\mu_y l}{h_c}};$$

$$n''_b = \frac{1 + \frac{(3 \cdot 44 - 41,8)0,24 \cdot 41,8}{6 \cdot 44 \cdot 28}}{1 + \frac{0,5 \cdot 0,24 \cdot 41,8}{28}} = 0,955$$

$$n_b = 1,00,955 = 0,955;$$

$$\delta = \frac{2\mu l}{\Delta h};$$

$$\delta = \frac{2 \cdot 0,24 \cdot 41,8}{10} = 2,0$$

$$\varepsilon = \frac{\Delta h}{h_0};$$

$$\varepsilon = \frac{10}{33} = 0,3$$

Для значений $\delta = 2,0$ и $\varepsilon = 0,3$ по графикам (рис. 4) находится $n'_\sigma = 1,16$

Коэффициент, учитывающий влияние внешних зон n''_σ определяется из отношения l/h_c , т.е. при $l/h_c = 0,05 \div 1,0$ $n''_\sigma = \left(l/h_c\right)^{-0,4}$ при $l/h_c > 1,0$ $n''_\sigma = 1,0$

В данном случае $l/h_c = 41,8/28 = 1,49$ значит коэффициент $n''_\sigma = 1,0$

Натяжение при прокатке отсутствует, поэтому $n'''_\sigma = 1,0$ тогда коэффициент

$$n_\sigma = n'_\sigma n''_\sigma n'''_\sigma;$$

$$n_\sigma = 1,161,01,0 = 1,16$$

Контактное давление:

$$p_{cp} = \sigma_\phi n_b n_\sigma;$$

$$p_{cp} = 10,50,9551,16 = 11,6 \text{ кгс/мм}^2$$

Усилие прокатки:

$$P = p_{cp} F;$$

$$P = 11,61840 = 21400 \text{ кгс} = 21,4 \text{ тс}$$

2. По методу С. Экелунда

Для расчета примем содержание в стали: С 0,46 %, Мп 0,65 %, Сг 0,25%.

Удельное сопротивление при статическом сжатии:

$$k_0 = (14 - 0,01t)(1,4 + C + Mn + 0,3Cr);$$

$$k_0 = (14 - 0,011100)(1,4 + 0,46 + 0,65 + 0,30,25) = 7,76 \text{ кгс/мм}^2;$$

Вязкость прокатываемого металла:

$$\eta = 0,01(14-0,01t)C_1,$$

где C_1 – коэффициент принимается из таблицы 1

Таблица 1

Скорость прокатки, м/с	До 6	6 ÷ 10	10 ÷ 15	15 ÷ 20
Коэффициент C_1	1,0	0,8	0,65	0,6

$$\eta = 0,01(14-0,01 \cdot 1100) \cdot 1,0 = 0,03 \text{ кгс/мм}^2$$

Скорость деформации по формуле С.Экелунда:

$$u = \frac{v\Delta h}{l \cdot 10^{-3} \cdot h_c};$$

$$u = \frac{4,4 \cdot 10}{41,8 \cdot 10^{-3} \cdot 28} = 37,6 \text{ с}^{-1};$$

Сопротивление деформации:

$$\sigma_\phi = k_0 + \eta u;$$

$$\sigma_\phi = 7,76 + 0,0337,6 = 8,89 \text{ кгс/мм}^2,$$

Коэффициент, учитывающий влияние внешнего трения:

$$n'_\sigma = 1 + m = 1 + \frac{1,6\mu_y l - 1,2\Delta h}{h_0 + h_1};$$

$$n'_\sigma = 1 + \frac{1,6 \cdot 0,24 \cdot 41,8 - 1,2 \cdot 10}{33 + 23} = 1,072.$$

Контактное давление:

$$p_{\text{ср.}} = \sigma_\phi n'_\sigma;$$

$$p_{\text{ср.}} = 8,891,072 = 9,55 \text{ кгс/мм}^2$$

Усилие прокатки:

$$P = p_{\text{ср.}} F;$$

$$P = 9,551840 = 17550 \text{ кгс} = 17,55 \text{ тс}$$

3. По методу А.Ф.Головина, В.А.Тягунова.

Используя графики на рис.5 определяются температура плавления $t_{\text{пл}}$ для стали 45 и предел прочности σ_B : $t_{\text{пл}} = 1430 \text{ }^\circ\text{C}$; $\sigma_B = 58 \text{ кгс/мм}^2$

Коэффициент k_t , зависящий, от температуры плавления стали и

температуры ее t при прокатке, определяется в зависимости от соотношений:

$$\text{ - при } t > (t_{\text{пл.}} - 575 \text{ } ^\circ\text{C}) \quad k_t = \frac{0,95 \cdot t_{\text{пл.}} - t}{1500} \approx \frac{t_{\text{пл.}} - 75 - t}{1500};$$

$$\text{ - при } t < (t_{\text{пл.}} - 575 \text{ } ^\circ\text{C}) \quad k_t = 10^{-6}(t_{\text{пл.}} - t)^2,$$

в данном случае:

$$t > (t_{\text{пл.}} - 575 \text{ } ^\circ\text{C}),$$

а именно

$$1100 \text{ } ^\circ\text{C} > (1430 \text{ } ^\circ\text{C} - 575 \text{ } ^\circ\text{C}),$$

$$1100 \text{ } ^\circ\text{C} > 855 \text{ } ^\circ\text{C},$$

то

$$k_t = \frac{0,95 \cdot t_{\text{пл.}} - t}{1500};$$

$$k_t = \frac{0,95 \cdot 1430 - 1100}{1500} = 0,173.$$

Сопротивление деформации:

$$\sigma_\phi = k_t \sigma_B;$$

$$\sigma_\phi = 0,17358 = 10 \text{ кгс/мм}^2$$

Коэффициент, учитывающий влияние внешнего трения:

$$n'_\sigma = 1 + \mu_y \left(\frac{l}{h_c} - 1 \right),$$

где $\mu_y = 0,33$ – коэффициент трения при установившемся процессе прокатки для данной формулы.

$$n'_\sigma = 1 + 0,33 \left(\frac{41,8}{28} - 1 \right) = 1,16$$

Контактное давление:

$$p_{\text{ср.}} = \sigma_\phi n'_\sigma;$$

$$p_{\text{ср.}} = 101,16 = 11,6 \text{ кгс/мм}^2$$

Усилие прокатки:

$$P = p_{\text{ср.}} F;$$

$$P = 11,61840 = 21400 \text{ кгс} = 21,4 \text{ тс.}$$

Вывод: усилие прокатки по методам:

А.И. Целикова составляет 21,4 тс;

С. Эжелунда – 17,55 тс;

А.Ф. Головина, В.А. Тягунова – 21,4 тс.

Пример расчета усилия при холодной прокатке.

Определить усилие при холодной прокатке с учетом натяжения, степени деформации и упругого сжатия валков.

Расчет выполнен для третьего прохода при прокатке полосы из стали 08кп с исходным сечением $2,0 \times 1000$ мм² до конечного сечения $0,5 \times 1000$ мм² на четырехклетевом стане с диаметром рабочих валков 490 мм. Режим обжатий и натяжений приведен в таблице 2. Смазкой при прокатке служит эмульсия стандартного эмульсола.

Таблица 2.

Режим обжатий и натяжений на четырехклетевом стане

Номер клетки	h_0 , мм	h_1 , мм	Удельное натяжение, кгс/мм ²	Скорость прокатки, м/с
1	2,0	1,5		3,19
2	1,5	0,77	14,4	6,24
3	0,77	0,60	19,8	8,0
4	0,60	0,50	21,6	9,6

Коэффициент контактного трения определяется по графику (рис. 1), $\mu_y = 0,044$.

Для определения σ_ϕ предварительно подсчитывается суммарная деформация, которую получила полоса до рассматриваемого прохода и после него:

$$\varepsilon_{\Sigma_2} = \frac{h_0 - h_2}{h_0} \cdot 100\%;$$

$$\varepsilon_{\Sigma_2} = \frac{2,0 - 0,77}{2,0} \cdot 100 = 61,5\%;$$

$$\varepsilon_{\Sigma_3} = \frac{h_0 - h_3}{h_3} \cdot 100\%;$$

$$\varepsilon_{\Sigma_3} = \frac{2,0 - 0,6}{2,0} \cdot 100 = 70\%$$

Значения пределов текучести для стали с учетом влияния степени деформации находятся по графику из справочника А.В. Третьяков, В.И. Зюзин Механические свойства металлов и сплавов при обработке давле-

нием. – М., «Металлургия», 1973. В данном случае для стали 08кп: $\sigma_{T_2} = 63$ кгс/мм²; $\sigma_{T_3} = 67$ кгс/мм².

Сопротивление деформации в условиях линейного сжатия с учетом степени наклепа:

$$\sigma_{\phi} = 0,5(\sigma_{T_2} + \sigma_{T_3});$$

$$\sigma_{\phi} = 0,5(63+67) = 65 \text{ кгс/мм}^2;$$

Абсолютное обжатие:

$$\Delta h_3 = h_2 - h_3;$$

$$\Delta h_3 = 0,77 - 0,6 = 0,17 \text{ мм}$$

Длина очага деформации без учета упругого сплющивания валков:

$$l = \sqrt{R\Delta h};$$

$$l = \sqrt{245 \cdot 0,17} = 6,46 \text{ мм}$$

Коэффициент n'_b , учитывающий влияние напряженного состояния определяется из отношения b/l . При $b/l \leq 1,0$, $n'_b = 1,0$; при $b/l > 5$, $n'_b = 1,15$; при $b/l = 1,0 \div 5,0$, n'_b находится по графику (рис. 2). В данном случае: $b/l = 1000/6,46 = 154,8$, значит $b/l > 5$, то принимаем $n'_b = 1,15$.

Коэффициент n''_b , учитывающий влияние внешнего трения в связи с уширением определяется по приближенной формуле А.И. Целикова:

$$n''_b = \frac{1 + \frac{(3b_c - l)\mu_y l}{6b_c h_c}}{1 + \frac{0,5\mu_y l}{h_c}};$$

где h_c и b_c – средняя высота и ширина сечения прокатываемой полосы, мм. При отсутствии уширения $n''_b = 1,0$. В данном случае уширение отсутствует, значит $n''_b = 1,0$.

Коэффициент, учитывающий влияние внешних зон n''_{σ} определяется из отношения l/h_c , т.е. при $l/h_c = 0,05 \div 1,0$ $n''_{\sigma} = \left(\frac{l}{h_c}\right)^{-0,4}$

при $\frac{l}{h_c} > 1,0$ $n''_{\sigma} = 1,0$. В нашем случае $n''_{\sigma} = 1,0$, т.к. $h_{cp.} = 0,5(h_2+h_3) = 0,5(0,77+0,6) = 0,68$ мм $6,46/0,68 = 9,8$, что больше единицы.

Коэффициент n'_{σ} , учитывающий влияние внешнего трения можно определить различными методами:

1. По методу А.И. Целикова.

Относительная деформация:

$$\varepsilon_3 = \frac{\Delta h_3}{h_2};$$

$$\varepsilon_3 = \frac{0,17}{0,77} = 0,22$$

$$\delta = \frac{2\mu_y l}{\Delta h_3};$$

$$\delta = \frac{2 \cdot 0,044 \cdot 6,46}{0,17} = 3,35$$

По графику, (рис. 3) находим $n'_{\sigma} = 1,18$.

Контактное давление без учета натяжения:

$$p'_{cp.} = \sigma_{\phi} n_b n'_{\sigma} n''_{\sigma};$$

$$p'_{cp.} = 65 \cdot 1,15 \cdot 1,18 \cdot 1,0 = 88,2 \text{ кгс} / \text{мм}^2$$

Коэффициент, учитывающий влияние натяжения:

$$n'''_{\sigma} = 1 - \frac{0,5(\sigma_2 + \sigma_3)}{p'_{cp.}};$$

$$n'''_{\sigma} = 1 - \frac{0,5(19,8 + 21,6)}{88,2} = 0,765$$

Контактное давление с учетом натяжения:

$$p_{cp.} = p'_{cp.} n'''_{\sigma};$$

$$p_{cp.} = 88,2 \cdot 0,765 = 67,5 \text{ кгс} / \text{мм}^2$$

Для учета сплющивания валков задаемся произвольными значениями длины контактной поверхности, увеличивая ее на 50 ÷ 80 %, и определяем для каждой выбранной величины l' и l'' контактное давление.

Зададимся $l' = 8$ мм, для этого значения

$$\delta = \frac{2\mu_y l}{\Delta h_3};$$

$$\delta = \frac{2 \cdot 0,044 \cdot 8}{0,17} = 4,15$$

По графику, (рис. 3) находим $n'_\sigma = 1,27$.

Контактное давление без учета натяжения:

$$P'_{cp.} = \sigma_\phi n_b n'_\sigma n''_\sigma;$$

$$P'_{cp.} = 65 \cdot 1,15 \cdot 1,27 \cdot 1,0 = 95 \text{ кгс/мм}^2$$

Коэффициент, учитывающий влияние натяжения:

$$n'''_\sigma = 1 - \frac{0,5(\sigma_2 + \sigma_3)}{P'_{cp.}};$$

$$n'''_\sigma = 1 - \frac{0,5(19,8 + 21,6)}{95} = 0,782$$

Контактное давление с учетом натяжения:

$$P_{cp.} = P'_{cp.} n'''_\sigma;$$

$$P_{cp.} = 950,782 = 74,3 \text{ кгс/мм}^2$$

Зададимся $l'' = 10$ мм, для этого значения:

$$\delta = \frac{2\mu_y l}{\Delta h_3};$$

$$\delta = \frac{2 \cdot 0,044 \cdot 10}{0,17} = 5,18$$

По графику, (рис. 3) находим $n'_\sigma = 1,38$.

Контактное давление без учета натяжения:

$$P'_{cp.} = \sigma_\phi n_b n'_\sigma n''_\sigma;$$

$$P'_{cp.} = 65 \cdot 1,15 \cdot 1,38 \cdot 1,0 = 103 \text{ кгс/мм}^2$$

Коэффициент, учитывающий влияние натяжения:

$$n'''_\sigma = 1 - \frac{0,5(\sigma_2 + \sigma_3)}{P'_{cp.}};$$

$$n'''_\sigma = 1 - \frac{0,5(19,8 + 21,6)}{103} = 0,8$$

Контактное давление с учетом натяжения:

$$p_{cp} = p'_{cp} \cdot n''_{\sigma};$$

$$p_{cp} = 1030,8 = 82,5 \text{ кгс/мм}^2$$

Для полученных значений p_{cp} найдем длину контактной поверхности с учетом сплющивания валков:

$$x_0 = \frac{Rp_{cp.}}{9500};$$

$$x_0 = \frac{245 \cdot 67,5}{9500} = 1,78 \text{ мм}$$

$$x_0 = \frac{245 \cdot 74,3}{9500} = 1,96 \text{ мм}$$

$$x_0 = \frac{245 \cdot 82,5}{9500} = 2,17 \text{ мм}$$

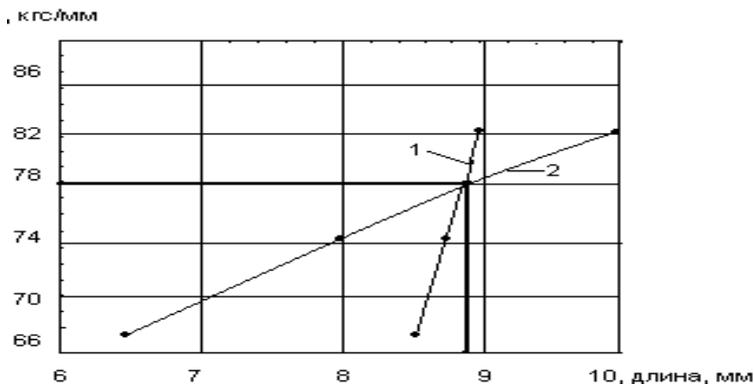
$$l_c = x_0 + \sqrt{R\Delta h + x_0^2}$$

$$l_c = 1,78 + \sqrt{245 \cdot 0,17 + 1,78^2} = 8,47 \text{ мм};$$

$$l'_c = 1,96 + \sqrt{245 \cdot 0,17 + 1,96^2} = 8,7 \text{ мм};$$

$$l''_c = 2,17 + \sqrt{245 \cdot 0,17 + 2,17^2} = 8,97 \text{ мм}$$

По полученным данным строятся зависимости 1 — $l_c = f(p_{cp})$ и 2 — $p_{cp} = f(l_c)$.



Графики зависимости контактного давления и длины контактной поверхности с учетом сплющивания.

Координаты точки пересечения кривых 1 и 2 : $p_{cp} = 78,0 \text{ кгс/мм}^2$; $l_c = 8,8 \text{ мм}$

Следовательно, усилие прокатки

$$P = p_{cp} F;$$

$$P = p_{cp} b l;$$

$$P = 78,010008,8 = 685000 \text{ кгс} = 685 \text{ тс}$$

2. По методу М. Стоуна

Определяется первая номографическая величина:

$$\left(\frac{\mu_y l}{h_c} \right)^2 = \left(\frac{0,044 \cdot 6,46}{0,5(0,77 + 0,6)} \right)^2 = 0,172$$

Вторая номографическая величина:

$$\frac{2R\mu_y (1,15\sigma_\phi - \sigma)}{9500h_c},$$

где $\sigma = 0,5(\sigma_2 + \sigma_3) = 0,5(19,8 + 21,6) = 20,7 \text{ кгс/мм}^2$;

$h_c = 0,5(h_2 + h_3) = 0,5(0,77 + 0,6) = 0,68 \text{ мм}$

$$\frac{2 \cdot 245 \cdot 0,044(1,15 \cdot 65 - 20,7)}{9500 \cdot 0,68} = 0,183$$

По номограмме М. Стоуна (рис. 4) $x = 0,56$. Для полученного значения x находим по таблице 1 $n'_\sigma = \frac{(\exp x - 1)}{x} = 1,34$. Из выражения

$$x = \frac{l_c \mu_y}{h_c} \text{ находим } l_c = \frac{x h_c}{\mu_y} = \frac{0,56 \cdot 0,68}{0,044} = 8,72 \text{ мм}$$

Контактное давление:

$$p_{cp} = (1,15\sigma_\phi - \sigma) n'_\sigma;$$

$$p_{cp} = (1,1565 - 20,7)1,34 = 72,4 \text{ кгс/мм}^2;$$

Усилие прокатки:

$$P = p_{cp} F;$$

$$P = p_{cp} b l;$$

$$P = 72,410008,72 = 633000 \text{ кгс} = 633 \text{ тс}$$

Вывод: усилие при холодной прокатке:

- по методу А.И. Целикова 685 тс;

- по методу М. Стоуна 633 тс.

Литература: 1-е. 108-133; 2-е. 115-130; 5-с. 170-227; 6-с. 202-205; 8-с. 128-III; 15-с. 110-17; 16-с. 93-98.

Тема 2.7. Расход энергии при обработке металлов давлением

Работу прокатки можно определить по моменту и скорости вращения валков стана и времени прокатки. Мощность прокатки

$$N_{np} = M_{np} \cdot n_{ос} / 0,975 \text{ кВт},$$

Где M_{np} — момент, необходимый для привода валков, т м; $n_{ос}$ — число оборотов валков в минуту. Работа прокатки $W_{np} = N_{np} t$, где t — продолжительность прокатки.

По расходу энергии на прокатку обычно определяют мощность двигателя вновь проектируемого стана или проверяют достаточность мощности установленного двигателя при внедрении нового режима обжатий, нового технологического процесса. Поэтому вращающий момент целесообразно определять на валу двигателя прокатного стана с учетом потерь в системе механизмов, передающих вращение.

Полный момент, необходимый для привода валков стана, может быть представлен в виде суммы

$$M_{дв} = (M_{np} + M_{тр} + M_{xx} \pm M_H) \pm M_d = M_{ст} \pm M_d$$

где M_{np} — момент прокатки, необходимый для осуществления деформации металла в очаге деформации; $M_{тр}$ — момент сил трения в подшипниках валков и в других частях стана (без учета момента, требующегося на вращение валков при холостом ходе); M_{xx} — момент для привода стана при холостом ходе (во время пауз); M_H — момент от действия приложенного к полосе натяжения; M_d — динамический момент, необходимый для преодоления инерционных усилий, возникающих при неравномерном вращении валков. Составляющие статического момента, за исключением M_H неизбежны для любого процесса прокатки.

Если оба валка одинакового диаметра и приводные, процесс деформации равномерен, момент прокатки можно определить как произведение усилия прокатки P и плеча a - расстояние от центра до линии действия P

$$M_{np} = 2P\alpha \text{ см.} \quad (1)$$

Множитель 2 означает, что моменты возникают на двух валках, соприкасающихся с полосой. Плечо α можно представить как часть длины очага деформации; $\alpha = \Psi \sqrt{R\Delta h}$ м, где Ψ - коэффициент плеча, показывающий, какую часть от длины очага деформации составляет плечо. Подставив значение a в уравнение (1) получим

$$M_{np} = 2P\Psi \sqrt{R\Delta h} \text{ т см.} \quad (2)$$

Момент дополнительных сил в главной линии привода одной клетки стана $M_{тр} = M_{тр1} + M_{тр2} - M_{тр3} + M_{тр4}$, где $M_{тр1}$ — момент сил трения в подшипниках валков; $M_{тр2}$ — момент сил трения в шпинделях и муфтах; $M_{тр3}$ — момент сил трения в шестеренке клетки; $M_{тр4}$ — момент

сил трения в редукторе. Момент сил трения в подшипниках валков $M_{тр}$ определяют по формуле

$$M_{пр} = Pd \mu_n \text{ тс.м} \quad (3)$$

где P — усилие прокатки, тс; d — диаметр шейки валков, м; μ_n — коэффициент трения в подшипниках валков. Для четырехвалкового стана с приводом через рабочие валки

$$M_{тр1} = Pd_{оп} \mu_n D_p / D_{оп} \text{ тс.м} \quad (4)$$

где $d_{оп}$ — диаметр шейки опорного валка, м; μ_n — коэффициент трения в подшипниках опорных валков; D_p и $D_{оп}$ — диаметры, бочек соответственно рабочего и опорного валков, м.

Коэффициент трения в подшипниках валков имеет следующие значения:

Подшипники	Коэффициент μ_n
Открытого типа с металлическими вкладышами:	
станов горячей прокатки.	0,07 — 0, 1
станов холодной прокатки.	0,05 — 0,07
С вкладышами из пластмасс	0,01 — 0,03
Качения и жидкостного трения.	0,003 — 0,005

Моменты прокатки и трения в подшипниках валков, подсчитанные по формулам (2), (3) и (4), можно привести к валу двигателя с учетом передаточного числа редуктора: $M_{пр} = M'_{пр} / i$; $M_{тр1} = M'_{тр1} / i$, где $M'_{пр}$ и $M'_{тр1}$ — моменты прокатки и трения в подшипниках валков, приведенные к валу двигателя; i — передаточное число редуктора.

Моменты трения в шпинделях, шестеренных клетях и редукторах можно учесть введением коэффициентов полезного действия. В таком случае общий момент трения определится по формуле

$$M_{тр} = M_{тр1} + (M_{пр} + M_{тр1} (\eta_2 \eta_3 \eta_4)^{-1} - 1]$$

Где η_2 — к. п. д. шпинделей и муфт; η_3 — к. п. д. шестеренной клетки; η_4 — к. п. д. редуктора.

Для трфовых шпинделей $\eta_2 = 0,96-0,98$; для универсальных шпинделей $\eta_2 = 0,94-0,98$; для шестеренной клетки $\eta_3 = 0,92-0,94$; для редуктора $\eta_4 = 0,92-0,94$.

Общий к. п. д. всего стана обычно находится в пределах 0,75-0,85.

После подстановки значений к. п. д. в окончательном виде получим.

$$M_{тр} = (0,33 - 0,18)M_{пр} + (1,33 - 1,18)M_{тр1}.$$

Определение момента холостого хода

Момент холостого хода стана определяется как сумма приведенных моментов трения вращающихся деталей (валков, шестерен, шпинделей) при нагрузке на подшипники от их собственной массы:

$$M_{х.х} = 0,5 \sum 9,81 G_n \mu_n d_n \text{ тс.м}, \quad (1)$$

где G_n — масса данной вращающейся детали; μ_n — коэффициент

трения в ее подшипниках; d_n — диаметр трения в подшипнике; i_n — передаточное число привода дан детали. На основании практических данных можно принять, что момент холостого хода составляет 5 — 8% номинального момента двигателя.

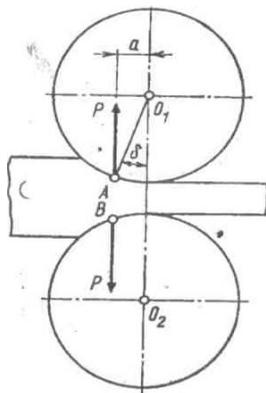


Рисунок 12. К определению момента прокатки

Пример расчета мощности двигателя прокатного стана

Определить мощность прокатки по вращающему моменту для стана с постоянной скоростью.

Расчет ведем для одной клетки. Прокатываемый металл – сталь 45. Привод клетки осуществляется от индивидуального электродвигателя мощностью 1100 кВт через понижающий одноступенчатый редуктор и шестеренную клетку. Шейки валков опираются на текстолитовые подшипники. Размеры поперечного сечения до и после клетки: $h_0=33\text{мм}$, $b_0=42\text{мм}$; $h_1=23\text{мм}$, $b_1=46\text{мм}$. Диаметр бочки валков $D=350\text{мм}$. Число оборотов валков $n=240\text{об/мин}$. Усилие прокатки $P=21,8\text{ т.с}$.

РЕШЕНИЕ

1. Длина очага деформации:

$$\Delta h = h_0 - h_1 = 33 - 23 = 10\text{мм}$$

$$l = \sqrt{R\Delta h} = \sqrt{175 \cdot 10} = 41,8\text{мм} = 0,0418\text{м}$$

2. Момент прокатки:

Так как полоса имеет прямоугольное сечение, принимаем коэффициент плеча $\psi=0,5$

$$M_{np.} = 2P\psi l = 2 \cdot 21,8 \cdot 0,5 \cdot 0,0418 = 0,914 \text{ тс.м}$$

3. Момент трения в подшипниках валков:
Для текстолитовых подшипников коэффициент трения $\mu=0,03$

$$M_{mp.} = Pd\mu = 21,8 \cdot 0,24 \cdot 0,03 = 0,144 \text{ тс.м},$$

где $d = (0,7 \dots 0,8)D = 0,7 \cdot 350 = 245 \text{ мм} = 0,24 \text{ м}$ - диаметр шейки валка.

4. Момент, необходимый для осуществления деформации в данной клетки:

$$M_{деф.} = M_{np.} + M_{mp.} = 0,914 + 0,144 = 1,058 \text{ тс.м}$$

5. Мощность, необходимая для осуществления деформации в данной клетки:

$$N_{деф.} = \frac{M_{деф.} \cdot n}{0,975} = \frac{1,058 \cdot 240}{0,975} = 261 \text{ кВт}$$

6. Примем расход мощности на холостой ход 8% от номинальной:

$$N_{x.x.} = 0,08N_{деф.} = 0,08 \cdot 1100 = 88 \text{ кВт}$$

7. Определим расчетную мощность с учетом потерь на трение в передачах и холостой ход:

Примем КПД шпинделей и муфт $\eta_2=0,97$; КПД шестеренной клетки $\eta_3=0,93$; КПД редуктора $\eta_4=0,93$.

Общий КПД: $\eta=\eta_2\eta_3\eta_4=0,97 \cdot 0,93 \cdot 0,93=0,84$

$$\text{Тогда } N_{расч.} = \frac{N_{деф.}}{\eta} + N_{x.x.} = \frac{261}{0,84} + 88 = 398 \text{ кВт}$$

Вывод: мощность прокатки $N_{расч.}=398 \text{ кВт}$.

Литература: 1-е. 151-169; 2-е. 55-57; 3-е. 108-172; 8-с. 147-153; 11-е. 268-283; 15-с. 236-259; 16-с. 148-156.

Тема 2.8. Неравномерность деформации при прокатке

Неравномерность деформации по толщине полосы проявляется как неодинаковое обжатие отдельных горизонтальных слоев полосы. Одной из причин ее может быть различие сопротивления деформации отдельных слоев.

Рассмотрим обжатие двухслойной полосы невращающимися валками одинакового диаметра.

Верхний слой – свинцовый, имеющий малое сопротивление деформации, нижний – алюминиевый, имеет более высокое сопротивление деформации. Верхний валок ливается в свинец на большую глубину, чем

нижний валок – в алюминий. Усилия, действующие на обе ка, равны между собой, согласно условию равно сил. Площади соприкосновения металлов с валками личные: у верхнего валка контактная площадь больше чем у нижнего.

Усилие, действующее на верхний валок $P_1 = p_1 F_1$; усилие, действующее на нижний валок $P_2 = p_2 F_2$; Согласно условию равновесия сил, имеем $p_1 F_1 = p_2 F_2$; но $P_1 < p_2$; $F_1 > F_2$.

Обжатия верхнего и нижнего слоев в рассматриваемом случае также неодинаковы. Свинцовый слой мается в большей мере, чем алюминиевый, т. е. $h_1 > h_2 - h_2$, следовательно, и вытяжка свинцового будет больше, чем алюминиевого. Если эти слои связаны между собой, то каждый из них получает при деформации свою естественную вытяжку. Если же слои связаны между собой (как, например, у биметалла при прокатке полоса будет изгибаться в сторону меньшей вытяжки, в данном примере – вниз).

Таким образом, при неравномерной деформации по толщине так же, как и для случаев неравномерной деформации по ширине, отдельные части полосы стремятся получить естественную длину в соответствии с обжатием их.

Аналогичные явления происходят и при прокатке не равномерно прогретой полосы. Вследствие различия сопротивления деформации отдельных слоев углы захвата для верхнего и нижнего валков различны.

При неравномерной деформации по толщине возможно образование трещин и на поверхности металла сопротивление деформации поверхностного слоя металла больше, чем в середине (например, с поверхности металл подстыл).

При неравномерной деформации по толщине так же, как и при неравномерной деформации по ширине, место вынужденное уширение и утяжка. Слои металла, получившие большее обжатие, имеют вынужденное уширение, а слои, получившие меньшее обжатие — утяжку. Так, при прокатке непрогретого металла получают вогнутые боковые кромки. Аналогично протекает деформация высокой полосы. То же самое можно наблюдать при прокатке биметаллической сталемедной проволоки. Медная оболочка, получая вынужденное уширение, как бы сползает со стального сердечника.

В каждый данный момент прокатки в стадии деформации находится лишь небольшая часть длины полосы (очаг деформации). Но даже в пределах этой небольшой части деформация не является равномерной. От плоскости входа в валки к плоскости выхода уменьшается скорость деформации, изменяется напряженное состояние и отношение между продольной и поперечной деформациями.

Взаимодействие переднего и заднего концов с деформируемой ча-

стью полосы накладывает свой отпечаток на спряженное состояние и характер перемещения частиц в очаге деформации. Таким образом, процесс прокатки сам по себе служит примером резко выраженной неравномерности деформации по длине полосы, но неравномерность эта проявляется на прокатанной полосе весьма своеобразно. Вследствие регулярности процесса прокатки через очаг деформации последовательно проходят все участки длины полосы и каждый из них в равной мере испытывает неравномерность деформации. В результате размеры и форма поперечного сечения, свойства металла и характер остаточных напряжений по всей длине прокатанной полосы получаются одинаковыми. Исключение составляют лишь небольшие участки длины по концам полосы, прокатанные в условиях неустановившегося процесса.

Деформация по длине прокатываемой полосы равномерна, если все поперечные сечения получают при прокатке одинаковое изменение формы и размеров, а описанную выше неравномерность учитывают лишь при анализе процессов, протекающих в очаге деформации.

Литература: 1-е. 113-124; 2-е. 55-57; 3-е. 108-172; 8-с. 147-153; 13-с. 143-150; 15-с. 100-117,260-288.

Тема 2.9. Особые случаи обработки металлов давлением

К особым случаям прокатки относятся: прокатка в калибрах, прокатка на непрерывных станах, поперечная и винтовая прокатка.

Усреднение толщины полосы, обжатия и диаметра валков. В большинстве ранее выведенных формул входят величины h_0 – толщина полосы до прокатки, h_1 – толщина полосы после прокатки и D – диаметр валков. При прокатке в калибрах перечисленные параметры часто не имеют определенного значения, изменяясь по ширине полосы.

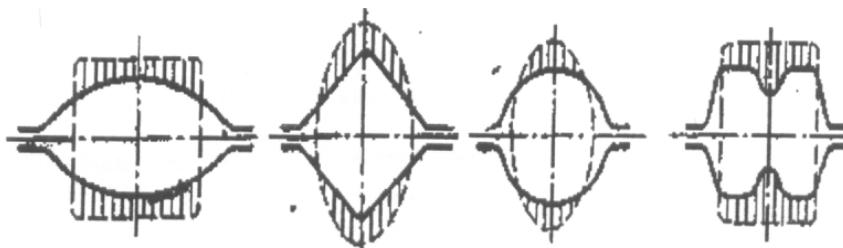


Рисунок 13. Схема неравномерной деформации при прокатке в калибрах (штриховыми линиями показана форма сечения заготовки, сплошными – форма калибров)

В таких случаях в формулы подставляется усредненное значение толщины полосы обжата и диаметра (радиуса) валков. Наиболее часто применяются следующие методы определения средних величин:

Метод М. В. Врацкого (метод приведенной полосы). Калибр с неравномерной высотой условно заменяют равновеликим (прямоугольником той же ширины (рис. 14 б)

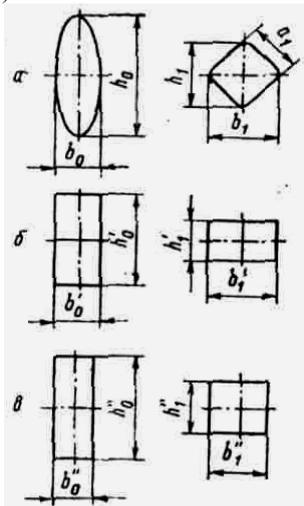


Рисунок 14. Усреднение толщины полосы овального и квадратного сечений: а – фактическая форма сечений, б – сечение приведенной полосы, в – сечение соответственной полосы

При этом средняя высота калибра, равная высоте прямоугольника, определится по формуле $h_1 = F_1 / b_1$ где F_1 — площадь калибра; b_1 — ширина калибра. Если толщина задаваемой в калибр полосы не одинакова по сечению, то определяют среднее ее значение h'_0 — F_0 / b_0 , где F_0 — площадь поперечного сечений полосы до прохода: b_0 - ширина полосы. Средняя величина обжатия в данном случае

$$\Delta h' = h'_0 - h'_1$$

Пример. Определить величину обжатия и катающий диаметр в квадратном калибре, в который задается полоса овального сечения (рис 14).

Размеры полосы, входящей из квадратного калибра: сторона квадрата $a^1 = 27$ мм. Площадь поперечного сечения с учетом закруглений $F_1 = 710$ мм², ширина квадрата $b_1 = 34$ мм. Размеры овальной полосы: ширина $b_0 = 21$ мм, высота $h_0 = 64$ мм, площадь поперечного сечения

$F_0=1058 \text{ мм}^2$. Диаметр валков по буртам $D_\sigma = 370 \text{ мм}$, зазор между валками $t=6 \text{ мм}$, расстояние между осями верхнего и нижнего валков

$$D_0 = D_\sigma + t = 370 + 6 = 376 \text{ мм}.$$

Решение.

По методу М. В. Врацкого.

Приведенная высота квадратного калибра

$$h'_1 = F'_1/b_1 = 710/34 = 20,8 \text{ мм}.$$

Приведенная высота овала

$$h'_0 = F_0/b_0 = 1058/21 = 50,4 \text{ мм}.$$

Среднее обжатие

$\Delta h = h'_0 * h'_1 = 50,4 * 20,8 = 29,6 \text{ мм}$. Катающий диаметр $D_k = D_0 - h_1 = 376 - 20,8 \approx 355 \text{ мм}$.

Полоса на непрерывных станах одновременно прокатывается в нескольких клетях, расположенных одна да другой (рис. 15).

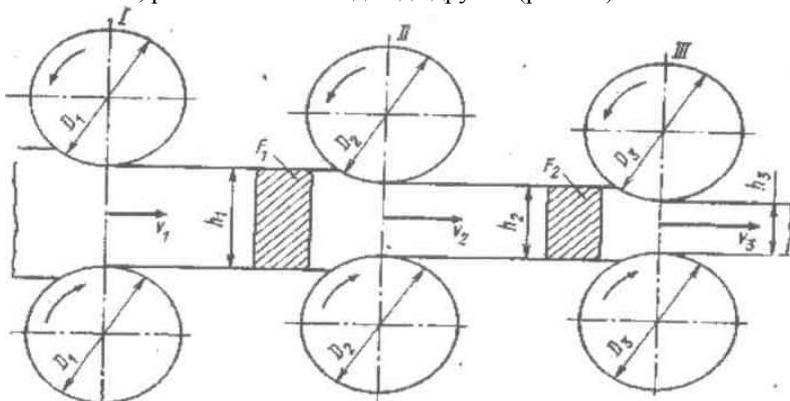


Рисунок 15. Схема прокатки на непрерывном стане

Основной критерий непрерывности процесса – постоянство секундных объемов, т.е. равенство объемов металла, проходящих за секунду через любую, перпендикулярную продольной оси полосы, плоскость. За контрольные обычно принимаются плоскости выхода металла из валков, и условие постоянства секундных объемов записывается в виде

$$F_1 v_1 = F_2 v_2 = F_3 v_3 = \dots = F_n v_n = const$$

где F_1, F_2, F_3, F_n – площадь поперечного сечения полосы, выходящей соответственно из 1,2, 3-й и других клеток; v_1, v_2, v_3 и v_n – скорости прокатки в соответствующих клетях. Если ширина прокатываемой полосы не изменяется, как например при прокатке листов, то условие постоянства секундных объемов запишется более просто:

$$\delta_1 v_1 = \delta_2 v_2 = \delta_3 v_3 = \dots = \delta_n v_n - const$$

где h_1, h_2, h_3, h_n – толщина полосы, выходящей соответственно из 1, 2, 3-й и других клеток.

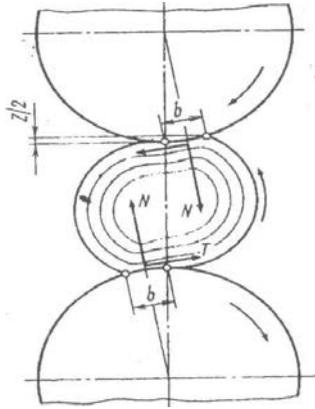


Рисунок 16. Схема поперечной прокатки.

При поперечной прокатке, **схема** которой изображена на рис. 16, валки вращаются в одном направлении, а продольная ось заготовки параллельна оси валка. Обкатываемая двумя или тремя валками заготовка вращается вокруг своей продольной оси и не совершает поступательного движения. Возможна обкатка одним валком, заготовку при этом необходимо удерживать от поперечных смещений. Иногда заготовку обкатывают между двумя взаимно смещающимися плоскими поверхностями (плашками). Более широко распространена винтовая (косая) прокатка, сходная с поперечной, но при винтовой прокатке оси валков располагаются не параллельно, а перекрещиваются под некоторым углом 2φ .

Винтовая прокатка широко применяется для изготовления полых гильз из сплошных заготовок при производстве безшовных труб. Процесс образования полости схематично изображен на рис. 17.

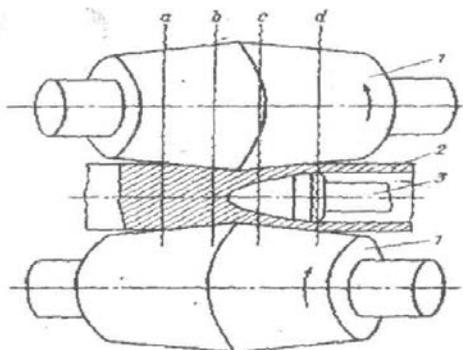


Рисунок 17. Схема образования отверстия в заготовке при прошивке на стане винтовой прокатки: 1 – валки; 2 – заготовка; 3 – оправка.

Вращающаяся вокруг своей продольной оси заготовка 2 одновременно движется поступательно, проходя между косорасположенными валками.

На участке а – б происходит уменьшение сечения заготовки, на участке с– d – увеличение полости и выравнивание овальности поперечного сечения. Устанавливаемая на пути движения заготовки оправка 3 обеспечивает получение правильной формы, и гладкой поверхности образуемого отверстия. Положение носка оправки выбирается с таким расчетом, чтобы предупредить самопроизвольное образование полости под действием растягивающих напряжений.

Литература: 1-е. 169-185; 2-е. 165-204; 16-с. 158-181.

Тесты по разделу 2

1. Определите опережение при прокатке, если окружная скорость валков 10 м/с, а скорость выхода полосы из валков 10,5м/с.

2. Определите, произойдет ли захват металла валками, если намечают вести прокатку с обжатием 60 мм на стане с валками диаметром 550 мм и коэффициентом трения при прокатке 0,4.

3. Установите соотношение между

1. $I =$ А. $0.5(b_0 + b_1)$

2. $I_x =$ Б. $\sqrt{R \Delta h}$

3. $\alpha =$ Г. $\sqrt{\Delta h R - 0.25 \Delta h^2}$

4. $F =$ Д. $\sqrt{\frac{\Delta h}{R}}$

4. Начертите схему разложения вектора напряжения на нормаль-

ную составляющую и касательную.

5. Выберите правильный ответ:

1. $\alpha = 1 - \cos\beta$

2. $\sqrt{R\Delta h}$

3. $\sqrt{\Delta h R - 0,25 \Delta h^2}$

4. $\sqrt{\frac{\Delta h}{R}}$

6. Напишите уравнение для определения усилия прокатки.

7. Начертите очаг деформации металла.

8. Чему равно отставание, если скорость входа металла в валки 7,5 м/с, а окружная скорость валков 8 м/с ?

9. Дополните определение.

Проходящая между валками полоса..... не по всему объему..... а только на некотором участке. Этот участок называется.....

10. Что произойдет с коэффициентом трения, если увеличить скорость прокатки?

11. При каком соотношении углов трения и захвата произойдет захват металла валками?

12. Вставьте пропущенные слова в определении:

Скорость металла при из больше их окружной скорости – это явление называется.....

13. Объясните, что произойдет с уширением, если увеличится коэффициент трения.

14. Написать стадии прокатки в правильной последовательности.

15. Начертить схему действия сил со стороны металла на валки.

**ПЕРЕЧЕНЬ ЭКЗАМЕНАЦИОННЫХ ВОПРОСОВ
ПО СПЕЦИАЛЬНОСТИ
150106 «ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ»
ДИСЦИПЛИНЫ «ТЕОРИЯ ОМД»**

1. Перспективы развития ОМД.
2. Способы получения формы изделий.
3. Кристаллическое строение металла.
4. Деформация монокристалла. Закон сдвигающихся напряжений.
5. Деформация поликристалла. Наклеп, рекристаллизация.
6. Влияние обработки давлением на структуру и свойства металла.
7. Внешние и внутренние силы.
8. Нормальные и касательные напряжения, главные напряжения и их схемы.
9. Факторы, влияющие на схему напряженного состояния.
10. Характеристики величины деформации.
11. Упругая и остаточная деформация, деформация.
12. Главные деформации и их схемы, Условия постоянства объема. Закон наименьшего сопротивления.
13. Неравномерность деформации, дополнительные и остаточные напряжения.
14. Сопротивление деформации. Факторы, влияющие на сопротивление деформации.
15. Теории предельного состояния. Уравнение пластичности.
16. Влияние контактного трения на сопротивление деформации.
17. Факторы, влияющие на пластичность.
18. Определение основных параметров очага деформации. Коэффициенты деформации.
19. Стадии прокатки.
20. Захват металла валками. Вывод условия захвата.
21. Соотношение углов α и β при захвате металла валками. Силы, действующие при захвате металла валками.
22. Силы, действующие при захвате металла валками в условиях установившегося процесса прокатки.
23. Виды и роль трения в процессах ОМД.
24. Влияние различных факторов на коэффициент трения.
25. опережение и отставание. Критическое сечение и угол.
26. Вывод формулы опережения.
27. Влияние различных факторов на опережение.
28. Связь между продольной и поперечной деформацией.
29. Влияние различных факторов на уширение.
30. Методы определения полного усилия и удельного давления.

31. Влияние различных факторов на величину удельного давления.
32. Определение удельного давления при горячей прокатке.
33. Определение удельного давления при холодной прокатке.
34. Методы определения работы ОМД.
35. Определение момента прокатки и момента трения.
36. Определение момента холостого хода; момента от действия натяжения; динамического момента.
37. Построение диаграммы механической нагрузки на валу двигателя прокатного стана.
38. Определение работы по диаграммам удельного расхода энергии.
39. Неравномерность деформации по длине. Виды дефектов.
40. Неравномерность деформации по толщине.
41. Неравномерность деформации по длине. Виды дефектов.
42. Особенности прокатки в калибрах.
43. Прокатка на непрерывных станах.
44. Поперечно-винтовая прокатка.
45. Прокатка многослойных металлов.
46. Прокатку в вакууме и нейтральных средах.
47. Порошковая металлургия.
48. Применение ультразвука при ОМД.
49. Бесслитковая прокатка.
50. Волочение.
51. Ковка. Объемная и листовая штамповка.
52. Методика разработки технологических процессов ОМД.

КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА

Вариант 1

1.1. Содержание дисциплины «Теория обработки металлов давлением». Основные задачи металлургии в области прокатного передела,

1.2. Что такое смещенный объем, как его определить? Что мы называем скоростью деформации и как она определяется?

1.3. Какая существует зависимость между скоростями полосы и валков?

1.4. Объясните, как влияют на величину уширения диаметр валков, число проходов, обжатие и ширина полосы.

1.5. Полоса толщиной 120 мм прокатана с обжатием 15 мм. Определите толщину полосы после прокатки и коэффициент обжатия.

1.6. Сляб размерами 100x200x1000 мм прокатан в полосу сечением 70x200 мм. Определите смещенный объем по высоте, ширине и длине раската.

1.7. На валках диаметром 1180 мм прокатан раскат с размера 500x1200 мм до размера 430x1210 мм. Определите давление на валки, если среднее удельное давление на валки 10 кгс/мм² (100 МН/м²).

Вариант 2

2.1. Опишите перспективы технического прогресса цеха, в котором Вы работаете.

2.2. Сформулируйте закон постоянства объема металла при пластической деформации, укажите его практическое значение. Запишите математические выражения закона постоянства объема с помощью линейных размеров металла с помощью коэффициентов деформации.

2.3. Объясните, как определить опережение методом керн.

2.4. Приведите формулы для расчета уширения и проанализируйте их.

2.5. Полоса толщиной 100 мм прокатана с обжатием 20%. Определите толщину полосы после прокатки и коэффициент обжатия.

2.6. Определите опережение, если окружная скорость валков 10 м/с, а скорость выхода полосы из валков 10,5 м/с.

2.7. Определите давление металла на валки по данным таблицы, если диаметр валков 1000 мм:

Толщина		Ширина		Длина очага деформации $l, \text{мм}$	Ширина очага деформации $b_{\text{ср}}, \text{мм}$	Удельное давление $P_{\text{ср}}, \text{кгс/мм}^2$	Давление на валки $P, \text{т}$
$b_0, \text{мм}$	$h_1, \text{мм}$	$b_0, \text{мм}$	$b_1, \text{мм}$				
600	520	650	660			8,0	
520	440	660	675			8,5	
440	370	675	690			8,6	
370	300	690	705			9,0	
300	240	705	720			10,0	

Вариант 3

3.1. Приведите краткую характеристику основных способов обработки металлов давлением.

3.2. Сформулируйте закон наименьшего сопротивления. Какое практическое значение имеет этот закон?

3.3. Что мы называем критическим сечением и критическим углом? Приведите формулу для определения критического угла и проанализируйте ее.

3.4. Дайте определение понятия «давление металла на валки».

3.5. При прокатке полосы длиной 10 м коэффициент вытяжки составил 1,1. Определите длину полосы после прокатки.

3.6. Определите скорость выхода раската из валков, если скорость входа металла в валки 7 м/с, а коэффициент вытяжки при прокатке 1,2.

3.7. Определите давление металла на валки, если на стане холодной прокатки с диаметром рабочих валков 500 мм прокатывается лист 1,2x1200 мм с обжатием 0,1 мм. Среднее удельное давление 90 кгс/мм² (900 МН/м²).

Вариант 4

4.1. Опишите кристаллическое строение металлов. Объясните, в чем заключается отличие свойств монокристаллов и поликристаллов.

4.2. Объясните процесс изменения формы поперечного сечения образца при осаживании.

4.3. Приведите вывод формулы для определения опережения при прокатке.

4.4. Приведите примеры неравномерной деформации на прокатном стане цеха, в котором Вы работаете. Перечислите ее причины.

4.5. Определите длину полосы до прокатки, если после прокатки с коэффициентом вытяжки 1.3 ее длина составила 7,5 м.

4.6. Рассчитайте коэффициент вытяжки при прокатке, если скорость входа полосы в валки 10 м/с, а скорость выхода 12 м/с.

4.7. Определите давление металла на валки, если на стане с диаметром рабочих валков 600 мм прокатывается лист шириной 1250 мм. Угол захвата 6° , среднее удельное давление 50 кгс/мм².

Вариант 5

5.1. Объясните механизм деформации монокристаллов.

5.2. Опишите влияние контактного трения на характер течения металла.

5.3. Приведите схему и объясните распределение сил трения в очаге деформации.

5.4. Приведите формулу для определения давления металла на валки. Какое практическое значение имеет знание величины давления металла на валки?

5.5. Определите длину листа 1,5x1250 мм в рулоне, прокатанного из сляба 200x1250x5000 мм.

5.6. Определите величину опережения, если толщина полосы после прокатки на валках диаметром 450 мм составила 2 мм. Критический угол 2° .

5.7. Определите среднее удельное давление по формуле С.Экелунда и давление металла на валки, если полоса из стали 08кп прокатана с сечения 200x200 мм до сечения 160x210 мм на валках с диаметром 720 мм со скоростью прокатки 5 м/с. Температура полосы 1000°C. Коэффициент трения при прокатке 0,4.

Вариант 6

6.1. Сформулируйте закон сдвигающих напряжений.

6.2. Какие напряжения называются дополнительными, остаточными? Причины их возникновения в металле.

6.3. Приведите вывод формулы для определения отставания при прокатке.

6.4. Приведите определения понятиям «удельное давление» и «среднее удельное давление». В чем их отличие?

6.5. Рассчитайте длину сляба толщиной 120 мм и шириной 1000

мм, если из него прокатан лист 20x1500x8000 мм.

6.6. Определите площадь поперечного сечения полосы после прокатки, если сечение до прокатки 100x100 мм. Скорость входа полосы в очаг деформации 5 м/с, а скорость выхода из очага деформации 6 м/с.

6.7. Определите среднее удельное давление по формуле А.Ф.Головина, В.А. Тягунова, если лист прокатан с сечения 50x1400 мм до сечения 40x1400 мм на валках диаметром 800 мм. Материал полосы сталь Ст.3. Температура металла 1000°C.

Вариант 7

7.1. Что мы называем дислокациями? Приведите примеры дислокаций.

7.2. Дайте определение понятия «сопротивление металла деформации» при обработке давлением.

7.3. Какие факторы и как влияют на величину опережения?

7.4. Что мы называем контактной поверхностью? Как определить горизонтальную проекцию контактной поверхности для различных условий прокатки?

7.5. Определите обжатие и уширение металла по проходам для режима обжатий слитка размерами 720x825, приведенного в следующей таблице:

Номер прохода	Сечение полосы $h \times b$, мм	Обжатие		Уширение	
		Δh , мм	ε_h , %	ΔB , мм	ε_B , %
1	590 x 830				
2(к)	500 x 840				
3	710x510				
4	600 x 520				
5	500 x 540				
6	400 x 560				

7.6. Определите величину опережения, если на валках диаметром 600 мм набит керн. Расстояние между отпечатками на прокатанной полосе 1900 мм.

7.7. Определите момент прокатки, если полоса сечением 300x250 мм прокатана до размеров 250x260 мм на валках диаметром 1000 мм. Температура металла 1100° С, давление на валки 500 тс (5 МН).

Вариант 8

8.1. Объясните сущность явления наклепа.

8.2. Что мы называем пределом текучести σ_T ? В чем отличие предела текучести от от сопротивления металла деформации при напряженном состоянии σ_s .

8.3. Охарактеризуйте влияние опережения на скорость прокатки и на скоростной режим непрерывной прокатки.

8.4. Опишите распределение удельного давления по дуге захвата и приведите факторы, влияющие на характер распределения.

8.5. Определите длину полосы после прокатки, если заготовку 80x80x5000 мм прокатали с обжатием 20мм и уширением 5 мм.

8.6. Определите величину опережения, если прокатка листа толщиной 2 мм ведется с обжатием 0,4 мм на валках диаметром 500мм. Коэффициент трения 0,1.

8.7. Определите момент трения в текстолитовых подшипниках блюминга, если диаметр шейки валка 800 мм, а давление металла на валки 1000тс(10МН).

Вариант 9

9.1. Опишите процесс деформации поликристаллического тела.

9.2. Опишите, как влияют на сопротивление деформации температура, скорость и степень деформации.

9.3. Охарактеризуйте силы, действующие в очаге деформации.

9.4. Объясните, какие факторы и как влияют на величину среднего удельного давления при прокатке?

9.5. Определите общий коэффициент вытяжки, если прокатка ведется в три прохода с коэффициентами вытяжки по проходам: $\lambda_1=1,15$; $\lambda_2=1,20$; $\lambda_3=1,25$.

9.6. Определите опережение при прокатке листа на валках диаметром 500 мм с коэффициентом трения 0,1 по данным режима прокатки, приведенным в следующей таблице

Но-мер	Толщина		Обжатие		Угол захвата		критический угол		Опережение, %
	h ₀ , мм	h _i , мм	Δh, мм	ε _n , %	град	рад	град	рад	
1	2,5	1,9							
1	1,9	1,3							
3	1,3	1,0							
4	1,0	0,9							

9.7. Определите момент прокатки на валу двигателя, если полосу сечением 100x100 мм прокатали на валках диаметром 500 мм с обжатием 20 мм и уширением 5%. Среднее удельное давление при прокатке 15 кгс/мм² (150 МН/м²). Скорость валков 120 об/мин, скорость двигателя 740 об/мин.

Вариант 10

10.1. Охарактеризуйте влияние пластической деформации на структуру и свойства металла.

10.2. Объясните, как влияет химический состав стали и величина зерна на сопротивление металла деформации.

10.3. Опишите, какое влияние оказывает протяженность зон отстаивания, прилипания, опережения на характер деформации металла при прокатке.

10.4. Объясните, как влияет на величину удельного давления натяжение, толщина полосы, трение при прокатке.

10.5. Определите число проходов и длину полосы после прокатки катанки 7 мм из заготовки 58x58x4950 мм, если средний коэффициент вытяжки за проход составляет 1.2.

10.6. Определите опережение при прокатке листа в чистовой группе широкополосного стана с диаметром валков во всех клетях 700 мм и коэффициентом трения 0,3 по данным режима прокатки, приведенным в следующей таблице:

Номер клетки	Толщина		Обжатие		Угол захвата I' a- 'l-тг !		Критиче- ский угол		Опере- жение, %
	h ₀ , мм	h _i , мм	Δh, мм	ε _h , %	град	рад	град	рад	
7	30,0	20,6							
8	20,6	12,5							
9	12,5	8,1							
10	8,1	5,4							
11	5,4	3,9							
12	3,9	3,0							
13	3,0	2,8							

10.7. Определите максимальный крутящий момент, создаваемый двумя двигателями постоянного тока мощностью по 6900 кВт на блюминге 1300. Скорость вращения валков 90 об/мин.

Вариант 11

11.1. Дайте определение понятия «упрочнение (наклеп) металла» при прокатке.

11.2. Охарактеризуйте влияние внешнего трения на сопротивление металла деформации.

11.3. Приведите современные гипотезы о перемещении частиц металла в очаге деформации.

11.4. Объясните, как влияет на удельное давление температура прокатываемого металла, скорость и степень деформации и химический состав металла.

11.5. Определите общий, средний и частные коэффициенты вытяжки, если при прокатке толщина полосы изменилась в следующем порядке: 20-16-12-9-7,5-6 мм. Прокатка без уширения полосы.

11.6. Рассчитайте коэффициент трения при прокатке полосы из стали Ст.3 со скоростью прокатки 12 м/с. Температура металла 1000° С.

И.7. Определите момент прокатки, момент трения, динамический момент и мощность двигателя на слябинге 1180 по следующим данным: давление

металла на валки 2730 т (27,3 МН), диаметр шейки валков 800 мм, подшипники текстолитовые, ускорение валков 50 (об/мин)/с, скорость прокатки 90 об/мин, маховый момент вращающихся деталей $GD^2=300 \text{ тм}^2$ (3000 кНм²).

Вариант 12

12.1. Охарактеризуйте явления, происходящие в деформированном металле при нагреве.

12.2. Объясните влияние натяжения и подпора при прокатке на величину сопротивления металла деформации.

12.3. Объясните, что мы называем контактным трением при прокатке. Природа возникновения трения при прокатке.

12.4. Объясните, какие факторы и как влияют на величину полного давления металла на валки.

12.5. Определите коэффициент вытяжки и длину полосы после прокатки, если заготовка 120x120x6000 мм прокатана с коэффициентом высотной деформации 0,7 и коэффициентом уширения 1,05.

12.6. Определите коэффициент трения при холодной прокатке листов со скоростью 25 м/с. Смазка валков и листа - хлопковое масло.

12.7. Определите работу прокатки, если сечение до прокатки 68x68 мм, после прокатки 50x70 мм. Среднее удельное давление при прокатке 7 кгс/мм² (70 МН/м²).

Вариант 13

13.1. Объясните сущность явления возврата и рекристаллизации металла.

13.2. Объясните, что мы называем предельным состоянием. Приведите третью теорию предельного состояния и охарактеризуйте ее.

13.3. Перечислите, какие виды трения возможны при прокатке. Опишите роль трения при прокатке.

13.4. Объясните, с какой целью при холодной прокатке используются полированные и шлифованные валки, применяется, технологическая смазка.

13.5. Определите длину очага деформации и длину дуги захвата, если диаметр валков составляет 300 мм, толщина полосы до прокатки 30 мм, после прокатки 22 мм.

13.6. Определите, произойдет ли захват металла валками при следующих условиях прокатки: толщина раската до прокатки 100 мм, после

прокатки 80 мм, материал валков - сталь, прокатываемая полоса из стали Ст.3, температура металла 1180°C, скорость прокатки 7 м/с. диаметр валков 500 мм.

13.7. Определите максимальное и среднее обжатие при прокатке ромбической полосы сечением 150x120 мм в квадратном калибре со стороной квадрата 100 мм.

Вариант 14

14.1. Опишите, от каких факторов зависит величина зерна после рекристаллизации.

14.2. Сформулируйте четыре теории предельного состояния. Запишите уравнение пластичности в общем и упрощенном виде.

14.3. Опишите влияние материала и состояния поверхности валков на коэффициент трения при прокатке.

14.4. Объясните, с какой целью при прокатке тонких полос и листов используются многовалковые клетки с рабочими валками малого диаметра.

14.5. Определите угол захвата, если при прокатке на валках диаметром 1180 мм толщина полосы до и после прокатки соответственно 380 и 310 мм.

14.6. Определите максимально возможное обжатие при прокатке заготовки из стали 12Х18Н9Т на чугунных валках диаметром 500 мм при температуре 1200 °С. Скорость прокатки 7 м/с.

14.7. Рассчитайте площадь контактной поверхности при прокатке на валках диаметром 500 мм квадратной полосы сечением 80x80 мм в ромбическом калибре 100x120 мм.

Вариант 15

15.1. Приведите определение понятия «холодная деформация». Как влияет холодная деформация на структуру и свойства металла?

15.2. Объясните, что такое «пластичность металла». Охарактеризуйте влияние различных факторов на пластичность металла.

15.3. Опишите, как влияет температура металла и валков на коэффициент трения.

15.4. Опишите опытные методы определения давления металла на валки. Какими приборами определяют давление металла на валки при прокатке?

15.5. Определите угол захвата, длину дуги захвата, длину очага

деформации, среднюю высоту и ширину очага деформации, если прокатана заготовка сечением 120x120 мм с обжатием 30 мм и уширением 5 мм на валках диаметром 720 мм.

15.6. Определите коэффициент трения при прокатке на стальных валках диаметром 1150 мм стальной полосы из стали 10пс при температуре металла 1180°C и скорости прокатки 90 об/мин. 15.7. Определите площадь контактной поверхности при прокатке на валках диаметром 500 мм листа сечением 0,5x1400 мм. Обжатие 0,1 мм, среднее удельное давление 60 кгс/мм² (600 МН/м²).

Вариант 16

16.1. Приведите определение понятия «горячая деформация». Как влияет горячая деформация на структуру и свойства металла.

16.2. Охарактеризуйте методы оценки и показатели пластичности.

16.3. Опишите влияние окалины на поверхности прокатываемой полосы на трение при прокатке. Как влияет химический состав и скорость прокатки на коэффициент трения при прокатке.

16.4. Перечислите приблизительные значения удельного и полного давления при прокатке на блюминге, сортовом стане, на листовых станах горячей и холодной прокатки.

16.5. Определите максимально возможное обжатие из условий захвата при следующих данных: диаметр валка 1150 мм. угол захвата 30°.

16.6. Определите коэффициент трения при прокатке полосы из стали Юпс на стальных валках со скоростью прокатки 5 м/с. Сделайте вывод о зависимости коэффициента трения от температуры полосы, заполнив следующую таблицу:

Температура полосы, °С	800	900	1000	1100	1200
Коэффициент трения					

16.7. Определите скорость прокатки в последней клетке непрерывного широкополосного стана (без учета опережения и уширения при прокатке), если ширина листа 1500 мм, толщина листа после первой клетки 150 мм, скорость прокатки в первой клетке 1 м/с, из чистовой клетки стана выходит полоса толщиной 4 мм.

Вариант 17

17.1. Опишите преимущества и недостатки горячей и холодной деформации металла.

17.2. Объясните, как повлияет уменьшение трения на пластичность металла и сопротивление металла деформации.

17.3. Перечислите, какие смазки применяются при прокатке. Какова роль технологической смазки?

17.4. Приведите эпюры распределения удельных давлений и удельных сил трения при прокатке толстых, средних и тонких листов. Объясните характер этих эпюр.

17.5. Определите максимальный угол захвата и максимально возможное обжатие за проход, если диаметр валков 530 мм, коэффициент трения 0,45.

17.6. Определите коэффициент трения при прокатке полосы из стали Ст.3 на стальных валках, если температура полосы 1180°C. Сделайте вывод о зависимости коэффициента трения от скорости прокатки, заполнив следующую таблицу:

Скорость прокатки, м/с	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Коэффициент трения										

17.7. Определите скорость прокатки полосы сечением 40x40 мм в первой клетки непрерывного проволочного стана, если из последней клетки выходит полоса диаметром 5 мм со скоростью 40 м/с.

Вариант 18

18.1. Приведите схему прокатки и укажите геометрический очаг деформации. Дайте определение понятия «геометрический очаг деформации».

18.2. Объясните, в чем сущность неполной горячей и неполной холодной деформаций металла.

18.3. Опишите влияние формы калибра на трение при прокатке.

18.4. Приведите определение понятия «работа прокатки» и запишите формулу для ее определения.

18.5. Определите обжатие и угол захвата по клетям чистовой группы стана 1700, если диаметр валков задаваемого в седьмую клеть 30 мм: 700 мм, исходная толщина.

Номер клетки	Толщина h, мм	Обжатие		Угол захвата	
		$\Delta h, \text{мм}$	$\varepsilon_h, \%$	град.	рад.
7	20,6				
8	12,5				
9	8,1				
10	5,4				
11	3,9				
12	3,0				
13	2,5				

18.6. Определите максимально возможное обжатие при прокатке стальной полосы марки 08кп на стальных валках диаметром 1180 мм со скоростью прокатки 3 м/с при температуре металла 1100°C.

18.7. Определите среднее удельное давление при прокатке на слябинге 1180 сечения 500x1500 мм до сечения 430x1515 мм. Давление металла на валки 800 т (8 МН).

Вариант 19

19.1. Дайте характеристику внешним силам, участвующим в деформации металла.

19.2. Перечислите параметры, характеризующие форму и размеры очага деформации,

19.3. Охарактеризуйте влияние основных факторов на коэффициент трения.

19.4. Запишите уравнение для определения крутящего момента на валу двигателя. Охарактеризуйте составляющие крутящего момента и приведите их численное определение.

19.5. Определите обжатие и угол захвата по клетям на четырехклетевом непрерывном стане 2500 холодной прокатки листов. Диаметр валков 500мм. Исходная толщина раската, задаваемого в первую клетку 4 мм. Расчетные данные сведите в следующую таблицу:

Номер клетки	Толщина h, мм	Обжатие		Толщина h, мм	
		$\Delta h, \text{мм}$	$\varepsilon_h, \%$	град.	рад.
1	3,0				
2	2,4				
3	1,6				
4	1,2				

19.6. Определите начальную ширину полосы, прокатанную с абсолютным уширением 10 мм и относительным уширением 15%.

19.7. Определите давление металла на валки при прокатке на валках диаметром 1150 мм полосы сечением 300x300 мм до сечения 250x310 мм. Момент прокатки составляет 140 тм (1,5 МН·м).

Вариант 20

20.1. Приведите определения понятиям «напряжение», «нормальное напряжение», «касательное напряжение».

20.2. Выведите формулу для определения угла захвата. 2

20.3. Запишите формулы для определения коэффициента трения и проанализируйте их.

20.4. Объясните, как определяется момент прокатки на валу двигателя.

20.5. Определите, произойдет ли захват металла валками диаметром 500 мм при обжатии 50 мм, если коэффициент трения составляет 0,4.

20.6. Определите максимально возможное обжатие при прокатке заготовки из стали ШХ15 на чугунных валках диаметром 800 мм при температуре 1100°C и скорости прокатки 5 м/с.

20.7. Определите давление металла на валки при прокатке на блюминге, если момент трения составляет 20 тм (0,2 МН*м). Диаметр шейки валков 800 мм.

Вариант 21

21.1. Приведите схемы главных нормальных напряжений.

21.2. Проанализируйте уравнение $\Delta h = D(1 - \cos \alpha)$ и укажите, как зависит величина обжатия от диаметра валков и угла захвата.

21.3. Объясните, с какой целью и какими способами увеличивают ко-

коэффициент трения на блюминге и уменьшают его при холодной прокатке.

21.4. Объясните, как определить момент, затрачиваемый на преодоление трения в деталях главной линии клетки.

21.5. Определите максимальный угол захвата и максимальное обжатие, при которых возможен захват металла валками при прокатке на блюминге 1300, если коэффициент трения составляет 0,57.

21.6. Определите уширение при прокатке по формуле Б.П Бахтинова, если толщина полосы до прокатки 80 мм, обжатие 20 мм, диаметр валков 500 мм, коэффициент трения 0,4

21.7. Определите скорости прокатки по клетям с учетом опережения в чистой группе непрерывного широкополосного стана в соответствии с режимом прокатки, приведенном в следующей таблице.

Номер клетки	Толщина		Опережение, %	Скорость прокатки, м/с	
	h, мм	h ₁ мм		без учета опережения	с учетом опережения
5	25	13,8	П,2		
6	13,8	8,4	11,1		
7	8,4	5,9	7		
8	5,9	4,4	6,8		
9	4,4	3,5	5,7		
10	3,5	3,0	3,9		

Вариант 22

22.1. Приведите схемы процессов прокатки, ковки, волочения, прессования и схемы напряженного состояния для каждого вида обработки давлением.

22.2. Сформулируйте определения угла захвата, дуги захвата. Какие значения углов захвата на обжимных станах, листовых станах?

22.3. Опишите влияние трения при прокатке на условия захвата металла валками. Перечислите способы улучшения захватывающей способности валков.

22.4. Объясните, как определить момент от действия натяжения.

22.5. Определите длину очага деформации при прокатке полосы в валках диаметром 500 мм с углом захвата 20°.

22.6. Определите уширение металла по формулам А.П. Чекмарева, Б.П. Бахтинова, А.И. Целикова при прокатке полосы сечением 480x930 мм с обжатием 60 мм со скоростью прокатки 5 м/с, если температура металла 1170°C. Валки стальные, прокатываемый металл-сталь 10пс. $D=500$ мм.

22.7. Определите обжатие при прокатке листа шириной 1600 мм на стане холодной прокатки с диаметром валков 500 мм, если среднее удельное давление 100 кгс/мм² (1000 МН/м²), давление металла на валки 2000 тс (20 МН).

Вариант 23

23.1. Опишите, как влияет схема напряженного состояния на пластичность металла, на сопротивление металла деформации.

23.2. Объясните, какие силы действуют со стороны валков на полосу в момент захвата.

23.3. Охарактеризуйте способы определения коэффициента трения при прокатке.

23.4. Объясните, как определяется момент холостого хода и динамические моменты при прокатке.

23.5. Определите ширину и толщину полосы после прокатки, если заготовка размерами 80x80x4950 мм прокатана в валках диаметром 500 мм при угле захвата 20°. Длина полосы после прокатки 8000 мм.

23.6. Определите уширение металла по формуле А.П. Чекмарева при прокатке полосы сечением 100x200 мм до толщины 70 мм на стальных валках диаметром 700 мм.

23.7. Определите давление металла на валки при прокатке листа 1x1400 мм, если диаметр валков 500 мм, обжатие 0,2 мм, среднее удельное давление 84 кгс/мм² (840 МН/м²).

Вариант 24

24.1. Объясните, какие факторы и как влияют на схему напряженного состояния.

24.2. Приведите вывод условия захвата металла валками при прокатке.

24.3. Объясните, что мы называем уширением металла при прокатке. Перечислите виды уширения.

24.4. Постройте диаграмму нагрузки на валу двигателя с постоянной скоростью прокатки.

24.5. С делайте выводы о влиянии диаметра валков на величину угла

захвата и на условия захвата при прокатке полосы толщиной 400 мм до толщины 330 мм на валках диаметрами 800, 1000, 1200 мм.

24.6. Определите горизонтальную проекцию контактной поверхности при прокатке на стане с валками диаметром 720 мм, если размеры полосы до прокатки 200x200 мм, после прокатки 150x210 мм.

24.7. Определите давление металла на валки если на стане с валками диаметром 700 мм прокатывается лист шириной 1600 мм. Угол захвата 8° , среднее удельное давление 40 кгс/мм² (400 МН/м²).

Вариант 25

25.1. Дайте определения упругой и пластической деформаций.

25.2. Приведите характеристику различных способов улучшения захвата металла валками при прокатке.

25.3. Опишите, какие коэффициенты и величины характеризуют уширение.

25.4. Постройте диаграмму нагрузки на валу двигателя реверсивного стана.

25.5. Определите угол захвата при прокатке и объясните, как влияет обжатие на величину угла захвата и на условия захвата по следующим данным: диаметр валков 900 мм, обжатия 50, 60, 70 мм.

25.6. Сделайте вывод о зависимости уширения от скорости прокатки для следующих условий прокатки: валки стальные, прокатываемый металл сталь 08сп, диаметр валков 730 мм, температура металла 1050° С, полоса сечением 200x200 мм прокатывается с обжатием 50 мм, скорости прокатки К 5, Юм/с.

25.7. Определите среднее удельное давление по формуле С. Эке-лунда и давление металла на валки при следующих условиях прокатки: полосу сечением 300x300 мм прокатали до сечения 250x310 мм, диаметр валков 1000 мм, прокатываемый металл сталь Ст.5, скорость прокатки 4 м/с, температура металла 1050°С, коэффициент трения при прокатке 0,4.

Вариант 26

26.1. Вычертите диаграмму растяжения стального образца, укажите зоны упругой и пластической деформации.

26.2. Приведите определения понятий «равномерная» и «неравномерная» деформации. Объясните причины появления неравномерной деформации.

26.3. Опишите роль технологической смазки при прокатке. Укажите

требования, предъявляемые к смазкам.

26.4. Сформулируйте и запишите основное условие непрерывной прокатки.

26.5. Рассчитайте, какой должен быть диаметр валков, чтобы захват металла валками произошел, если необходимо прокатать полосу с обжатием 80 мм, допустимый угол захвата 28° .

26.6. Сделайте вывод о зависимости уширения от температуры металла при следующих условиях прокатки: полоса сечением 200x200 мм прокатывается на стальных валках диаметром 750 мм с обжатием 40 мм при скорости прокатки 5 м/с, материал полосы сталь 65Г. Определите уширение при температурах прокатки 1000°C, 1100°C, 1200°C.

26.7. Определите среднее удельное давление по формуле А.Ф. Головина, В.А. Тягунова и давление металла на валки, если лист 40x1600 мм прокатали до сечения 32x1600 мм. Диаметр валков 800 мм, прокатываемый металл сталь Ст.3, температура полосы 1050 С.

Вариант 27

27.1. Объясните, какая связь между деформацией и напряжением при упругой деформации и при пластической деформации.

27.2. Сравните условия захвата и установившегося процесса прокатки. Причины появления избыточных сил трения в очаге деформации.

27.3. Сформулируйте закон наименьшего сопротивления и объясните его значение для определения величины уширения и коэффициента вытяжки металла при прокатке.

27.4. Определите абсолютное уширение, относительное уширение и ширину полосы после прокатки, если толщина полосы до прокатки 8 мм, после прокатки 6 мм, ширина полосы до прокатки 200 мм, диаметр валков 500 мм, коэффициент трения 0,35.

27.5. Определите обжатие, толщину и длину полосы после каждого прохода, а также суммарное обжатие и общий коэффициент вытяжки, если размеры полосы после прокатки 8x1000x8000 мм, диаметр валков 700 мм, углы захвата по проходам: 8° , 7° , 6° .

27.6. Объясните, какая деформация называется равномерной и какая неравномерной.

27.7. Определите момент прокатки при прокатке полосы сечением 400x400 мм до сечения 330x415 мм на валках диаметром 1050 мм. Температура металла 1100°C, давление металла на валки 600 тс (6 МН).

Вариант 28

28.1. Приведите определение понятия «главная деформация». Изобразите графически и охарактеризуйте схемы главных деформаций.

28.2. Объясните, что необходимо предпринять, если захват металла валками не произошел.

28.3. Вычертите схему очага деформации и покажите направление действия сил трения в очаге деформации.

28.4. Объясните, какие причины вызывают неравномерность деформации по толщине полосы и какие явления ее сопровождают.

28.5. Определите параметры очага деформации при прокатке полосы сечением 320x400 мм до сечения 25x415 мм на валках диаметром 1100мм.

28.6. Сделайте вывод о зависимости уширения от обжатия, определив уширение металла при обжатиях 20, 40, 60 мм при следующих условиях прокатки: сечение полосы до прокатки 200x250 мм, диаметр валков 700 мм, скорость прокатки 4 м/с, температура металла 1100°C, материал валков сталь, прокатываемый металл 15Г.

28.7. Определите момент трения в текстолитовых подшипниках блюминга/если диаметр шейки валков 800 мм, а давление металла навалки 1000 тс (10 МН).

Вариант 29

29.1. Объясните, какие механические схемы деформации возникают при ковке, прокатке, волочении, прессовании.

29.2. Объясните, когда условия захвата лучше: при прокатке в калибрах или при прокатке на гладких бочках валков. 29.3. Объясните, какие факторы и как влияют на величину уширения при прокатке.

29.3. Объясните, как определить в калибрах обжатие, угол захвата, длину очага деформации.

29.4. Определите длину полосы после прокатки и общий коэффициент вытяжки при прокатке заготовки 100x400x1100 мм до сечения 4x320 мм на штрипсовом стане 300.

29.5. Определите величину горизонтальной проекции контактной поверхности при прокатке полосы сечением 200x200 мм на стальных валках диаметром 730 мм. Материал полосы сталь Ст.5. Обжатие 40 мм. Скорость прокатки 5 м/с. Температура полосы 1100°C.

29.6. Определите момент прокатки, приведенный к валу двигателя, если полосу сечением 80x80 мм прокатали на валках диаметром 500 мм с обжатием 15 мм и уширением 5%. Среднее удельное давление при про-

катке 15 кгс/мм^2 (150 МН/м^2), скорость валков 150 об/мин, скорость двигателя 740 об/мин.

Вариант 30

30.1. Перечислите характеристики деформации.

30.2. Объясните в чем сущность явлений опережения и отставания. Приведите формулы для определения опережения и отставания.

30.3. Объясните, как влияет на величину уширения коэффициент трения, скорость прокатки, температура металла, химический состав прокатываемого металла, состояние поверхности валков.

30.4. Объясните, какое уширение называется свободным, стесненным, вынужденным.

30.5. Определите число проходов, необходимое для прокатки угловой стали и длину готового проката при прокатке на стане 500 угловой стали с шириной полки 100 мм и шириной полки 10 мм из заготовки $160 \times 160 \times 4950$ мм. Средний коэффициент вытяжки за проход составляет 1,28.

30.6. Определите горизонтальную проекцию контактной поверхности при прокатке на трехвалковом стане 900/800/900 раската с сечения 250×1200 " до сечения 200×1205 мм.

30.7. Определите максимальный крутящий момент, создаваемый двумя двигателями по 6000 кВт на блюминге 1250. Скорость валков 90 об/мин.

ЛИТЕРАТУРА

Основная

1. Грудев, А. П. Теория прокатки. [Текст]: – 2-е изд., перераб. и доп. / А.П. Грудев. – М.: Интернет Инжиниринг 2001 – 280 с.
2. Иванов, И. И. Основы теории обработки металлов давлением: Учеб. для вузов. [Электр. ресурс] / И. И. Иванов . – М.: ЭБС Лань, 2011. – Режим доступа: <http://e.lanbook.com>

Дополнительная

1. Обработка металлов давлением. Ю.Ф. Шевакин, Чернышев Н.В. и др. [Текст]: – М.: Интернет Инжиниринг 2005 – 496с.
2. Основы теории обработки металлов давлением. [Текст]: уч. пос. для вузов И.И. Иванов, А.В. Соколов, В.С. Соколов и др. - М.: Форум-Инфра – М 2007 – 144с.
3. Теория прокатки. [Текст]: Справочник под ред. В.И. Зюзина, А.В. Третьякова – М.: Металлургия 1982 –335с.
4. Теория прокатки. [Текст]: Справочник под ред. П.И. Полухина. – М.: Металлургия 1986 – 198с.
5. Черепяхин А.А. Технология обработки материалов: Учеб. для СПО, Академия,2009
6. Шестаков Н.А., Власов А.В. Моделирование процессов обработки металлов давлением в программном комплексе Forming [Текст]: уч. пос. Н.А. Шестаков, А.В. Власов. – 2-е изд., стереот. - М.: МГИУ 2008 – 104с.

Учебное текстовое электронное издание

Дубровская Елена Юрьевна

ТЕОРИЯ ОБРАБОТКИ МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ

Учебное пособие

Издается полностью в авторской редакции

1,0 Мб

1 электрон. опт. диск

г. Магнитогорск, 2015 год

ФГБОУ ВПО «МГТУ»

Адрес: 455000, Россия, Челябинская область, г. Магнитогорск,
пр. Ленина 38

ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный
технический университет им. Г.И. Носова»

Отделение металлургии

Центр электронных образовательных ресурсов и
дистанционных образовательных технологий

e-mail: ceor_dot@mail.ru