

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Магнитогорский государственный технический университет
им. Г. И. Носова»
Многопрофильный колледж



**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
ДЛЯ ЛАБОРАТОРНО-ПРАКТИЧЕСКИХ РАБОТ
ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО МОДУЛЯ
ПМ.03 Подготовка и ведение технологического процесса обработки металлов
давлением
МДК.03.01 Теория обработки металлов давлением
для обучающихся специальности
22.02.05 Обработка металлов давлением**

Магнитогорск, 2022

ОДОБРЕНО

Предметно-цикловой комиссией
«Металлургии и обработки металлов давлением»
Председатель О.В. Шелковникова
Протокол № 10 от 22.06.2022 г.

Методической комиссией МпК

Протокол № 6 от 29.06.2022

Разработчики

преподаватель ФГБОУ ВО «МГТУ им Г.И. Носова» МпК О.А. Миронова

Методические указания разработаны на основе рабочей программы ПМ.03 Подготовка и ведение технологического процесса обработки металлов давлением, МДК.03.01 Теория обработки металлов давлением

СОДЕРЖАНИЕ

1 Введение	4
2 Методические указания	6
Лабораторная работа 1	6
Лабораторная работа 2	8
Лабораторная работа 3	10
Лабораторная работа 4	12
Практическая работа 1	13
Практическая работа 2	15
Практическая работа 3,4	18
Лабораторная работа 5	20
Практическая работа 5,6	24
Лабораторная работа 6	26
Практическая работа 7,8	29
Лабораторная работа 7	32
Лабораторная работа 8,9	34
Практическая работа 9,10,11	37
Практическая работа 12,13	39
Лабораторная работа 10	43
Практическая работа 14	45
Практическая работа 15	49
Практическая работа 16	54
Практическая работа 17	57

1 ВВЕДЕНИЕ

Важную часть теоретической и профессиональной практической подготовки обучающихся составляют практические и лабораторные занятия.

Состав и содержание практических и лабораторных занятий направлены на реализацию Федерального государственного образовательного стандарта среднего профессионального образования.

Ведущей дидактической целью практических занятий является формирование профессиональных практических умений (умений выполнять определенные действия, операции, необходимые в последующем в профессиональной деятельности) или учебных практических умений рассчитывать основные величины, характеризующие процессы обработки металлов давлением, необходимых в последующей учебной деятельности.

Ведущей дидактической целью лабораторных занятий является экспериментальное подтверждение и проверка существенных теоретических положений (законов, зависимостей).

В соответствии с рабочей программой ПМ.03 Подготовка и ведение технологического процесса обработки металлов давлением, МДК.03.01 Теория обработки металлов давлением предусмотрено проведение практических и лабораторных занятий.

В результате их выполнения, обучающийся должен:

уметь:

- применять типовые методики определения параметров обработки металлов давлением;
- выбирать справочные данные, характеризующие взаимосвязи структуры и свойств обрабатываемых металлов и сплавов, для обеспечения выпуска продукции с заданными свойствами;
- рассчитывать абсолютные, относительные и полные показатели и коэффициенты деформации;
- инструктировать подчинённых о правилах эксплуатации технологического оборудования;

Содержание практических и лабораторных занятий ориентировано на формирование общих компетенций по профессиональному модулю программы подготовки специалистов среднего звена по специальности и овладению **профессиональными компетенциями:**

ПК 3.1. Проверять правильность назначения технологического режима обработки металлов давлением.

ПК 3.2. Осуществлять технологические процессы в плановом и аварийном режимах.

ПК 3.3. Выбирать виды термической обработки для улучшения свойств и качества выпускаемой продукции.

ПК 3.4. Рассчитывать показатели и коэффициенты деформации обработки металлов давлением.

ПК 3.5. Рассчитывать калибровку рабочего инструмента и формоизменение выпускаемой продукции.

ПК 3.6. Производить смену сортамента выпускаемой продукции.

ПК 3.7. Осуществлять технологический процесс в плановом режиме, в том числе используя программное обеспечение, компьютерные и телекоммуникационные средства.

ПК 3.8. Оформлять техническую документацию технологического процесса.

ПК 3.9. Применять типовые методики расчета параметров обработки металлов давлением.

А также формированию *общих компетенций*:

ОК 01 Выбирать способы решения задач профессиональной деятельности применительно к различным контекстам.

ОК 02 Использовать современные средства поиска, анализа и интерпретации информации и информационные технологии для выполнения задач профессиональной деятельности.

ОК 03 Планировать и реализовывать собственное профессиональное и личностное развитие, предпринимательскую деятельность в профессиональной сфере, использовать знания по финансовой грамотности в различных жизненных ситуациях

ОК 04 Эффективно взаимодействовать и работать в коллективе и команде.

ОК 05 Осуществлять устную и письменную коммуникацию на государственном языке Российской Федерации с учетом особенностей социального и культурного контекста.

ОК 06 Проявлять гражданско-патриотическую позицию, демонстрировать осознанное поведение на основе традиционных общечеловеческих ценностей, в том числе с учетом гармонизации межнациональных и межрелигиозных отношений, применять стандарты антикоррупционного поведения.

ОК 07 Содействовать сохранению окружающей среды, ресурсосбережению, применять знания об изменении климата, принципы бережливого производства, эффективно действовать в чрезвычайных ситуациях.

ОК 09 Пользоваться профессиональной документацией на государственном и иностранном языках

Выполнение обучающимися практических и лабораторных работ по ПМ.03 Подготовка и ведение технологического процесса обработки металлов давлением, МДК.03.01 Теория обработки металлов давлением, направлены на:

- обобщение, систематизацию, углубление, закрепление, развитие и детализацию полученных теоретических знаний по конкретным темам учебной дисциплины;

- формирование умений применять полученные знания на практике, реализацию единства интеллектуальной и практической деятельности;

- формирование и развитие умений: наблюдать, сравнивать, сопоставлять, анализировать, делать выводы и обобщения, самостоятельно вести исследования, пользоваться различными приемами измерений, оформлять результаты в виде таблиц, схем, графиков;

- приобретение навыков работы с различными приборами, аппаратурой, установками и другими техническими средствами для проведения опытов;

- развитие интеллектуальных умений у будущих специалистов: аналитических, проектировочных, конструктивных и др.;

- выработку при решении поставленных задач профессионально значимых качеств, таких как самостоятельность, ответственность, точность, творческая инициатива.

Практические и лабораторные занятия проводятся после соответствующей темы, которая обеспечивает наличие знаний, необходимых для ее выполнения.

2 МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Тема 1.1 Физические основы пластической деформации

Лабораторная работа № 1

Устройство и принцип работы прокатного стана ДУО -130

Цель: изучить правила техники безопасности работы на лабораторном прокатном стане, конструкцию и принцип его работы.

Выполнив задания, Вы будете:

уметь:

1)выбирать справочные данные, характеризующие взаимосвязи структуры и свойств обрабатываемых металлов и сплавов, для обеспечения выпуска продукции с заданными свойствами;

2)инструктировать подчинённых о правилах эксплуатации технологического оборудования;

Материальное обеспечение:

- инструкция по технике безопасности;
- инструкция по выполнению лабораторных работ;
- свинцовые образцы;
- штангенциркуль.

Оборудование: лабораторный автоматизированный прокатный стан ДУО-130.

Задание: Составить технический паспорт лабораторного стана, прокатать образец, сделать замеры, заполнить таблицу.

Краткие теоретические сведения:

Прокатный стан — комплекс оборудования, в котором происходит пластическая деформация металла между вращающимися валками. В более широком значении — система машин, выполняющая не только прокатку, но и вспомогательные операции:

- транспортирование исходной заготовки со склада к нагревательным печам и к валкам стана,
- передачу прокатываемого материала от одного калибра к другому,
- кантовку,
- транспортирование металла после прокатки,
- резку на части,
- маркировку или клеймение,
- правку,
- упаковку,
- передачу на склад готовой продукции и др.

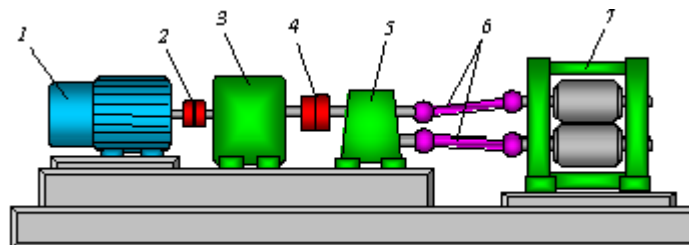
Различают основное и вспомогательное оборудование прокатного стана. Основное оборудование прокатного стана предназначено для выполнения главной операции — деформации металла между вращающимися валками. Вспомогательное оборудование составляют машины и агрегаты для выполнения вспомогательных операций, таких как нагрев, транспортировка исходного материала к рабочей клетки, кантовка, уборка материала после прокатки, резка на мерные длины, охлаждение, правка, сматывание в бунты или рулоны, отделка, термическая обработка, маркировка и клеймение, упаковка, подача на склад готовой продукции.

Линия, по которой располагают основное оборудование, называется главной линией прокатного стана. В случае с одноклетьевым станом, главная линия — одна рабочая клеть с приводом прокатных валков (рис. 1).

Главную линию многоклетьевого стана образуют несколько рабочих клеток, которые располагаются в одну линию, параллельно друг другу или в шахматном порядке.

По расположению рабочих клеток различают последовательные, непрерывные и полунепрерывные многоклетевые станы. Последовательный стан отличается поочередной прокаткой полосы в его рабочих клетях. Непрерывный стан — стан, в котором полоса прокатывается одновременно во всех его клетях. Клетки располагаются одна за другой, обеспечивая высокую производительность стана. Полунепрерывный стан состоит из непрерывных и последовательных групп клеток.

По назначению различают обжимные, заготовочные, толстолистовые, широкополосовые и листовые станы холодной прокатки, а также рельсобалочные, сортопрокатные, проволочные, трубо- и деталепрокатные станы. Кроме того, существуют профилегибочные станы.



1 — электродвигатель; 2 — муфта моторная; 3 — редуктор; 4 — муфта коренная; 5 — шестеренная клетка; 6 — шпиндель; 7 — рабочая клетка

Рисунок 1 - Одноклетевой прокатный стан:

Порядок выполнения работы:

1. Изучите правила безопасности и устройство прокатного стана.
2. Получите у преподавателя исходный образец типа «блужд».
3. Измерьте штангенциркулем его ширину, высоту и длину. Полученные размеры запишите в таблицу.
4. Установите зазор между валками величиной 8 мм.
5. Включите стан.
6. Установите скорость прокатки 3 м/с.
7. Задайте образец в клетку с помощью деревянного бруска.
8. После прокатки измерьте ширину, длину и толщину. Результаты запишите в таблицу.

Ход работы:

1. Инструктаж по технике безопасности в лаборатории обработки металлов давлением.
2. Знакомство с лабораторным станом.
3. Оформление отчета о проделанной работе в тетради для лабораторных работ.

Таблица 1 – Результаты замеров

Состояние образца	Толщина образца, мм	Ширина образца, мм	Длина образца, мм
Исходное			
после прокатки			

Форма представления результата: название работы, цель, краткие теоретические сведения, результаты замеров и расчетов, выводы.

Критерии оценки:

Процент результативности (правильных ответов)	Качественная оценка индивидуальных образовательных достижений	
	балл (отметка)	вербальный аналог
90 ÷ 100	5	отлично
80 ÷ 89	4	хорошо
70 ÷ 79	3	удовлетворительно
менее 70	2	не удовлетворительно

Тема 1.2 Виды деформации металлов и сплавов

Лабораторная работа № 2

Получение наклепанного металла на лабораторном стане ДУО-130

Цель работы: путем прокатки в холодном состоянии металлических образцов получить наклепанный металл и установить влияние степени деформации на механические свойства металла.

Выполнив работу, Вы будете:

уметь:

- настраивать лабораторный стан;
- прокатывать образцы;
- замерять твердость образцов;
- рассчитывать обжатия при прокатке.

Материальное обеспечение:

- инструкция по выполнению лабораторных работ;
- свинцовый образец;
- штангенциркуль;
- твердомер.

Оборудование: лабораторный автоматизированный прокатный стан ДУО-130.

Задание:

Прокатать 3 образца из мягкой стали размерами 100х4мм, и 3 образца из меди размерами 100х4мм; произвести замеры твердости

Краткие теоретические сведения:

Наклёп (нагартóвка) — упрочнение металлов и сплавов вследствие изменения их структуры и фазового состава в процессе пластической деформации при температуре ниже температуры рекристаллизации.

При наклепе металла его плотность уменьшается. Это происходит потому, что пластическая деформация приводит к нарушению порядка в размещении атомов, увеличение плотности дефектов и образование микропор. Уменьшение плотности означает увеличение удельного объема – объема единицы массы.

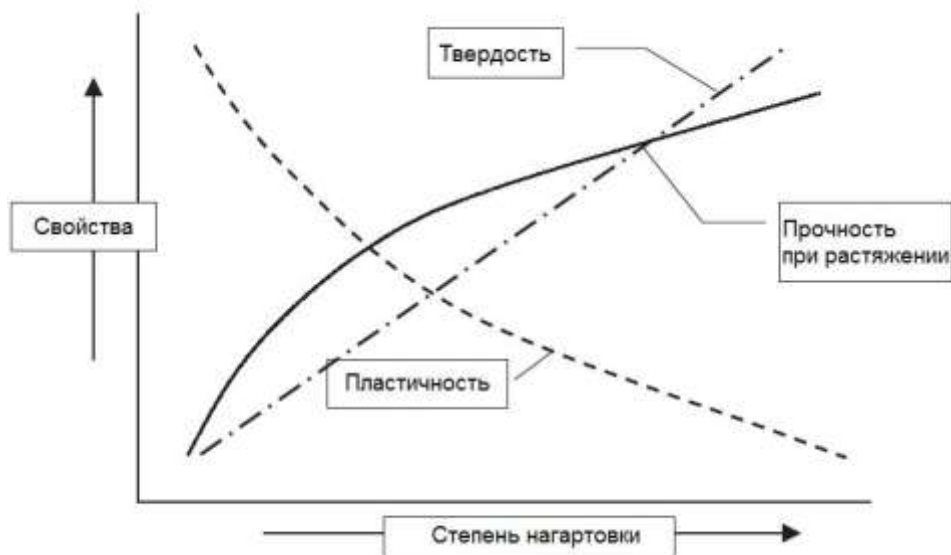


Рисунок 2-Влияние степени нагартовки на прочность, твердость и пластичность металлов

Наружный наклёпанный слой стремится расшириться, а внутренние слои его «не пускают» – в нем возникают сжимающие остаточные напряжения. Эти напряжения бывают очень полезными, так как способны замедлять зарождение и рост поверхностных усталостных трещин.

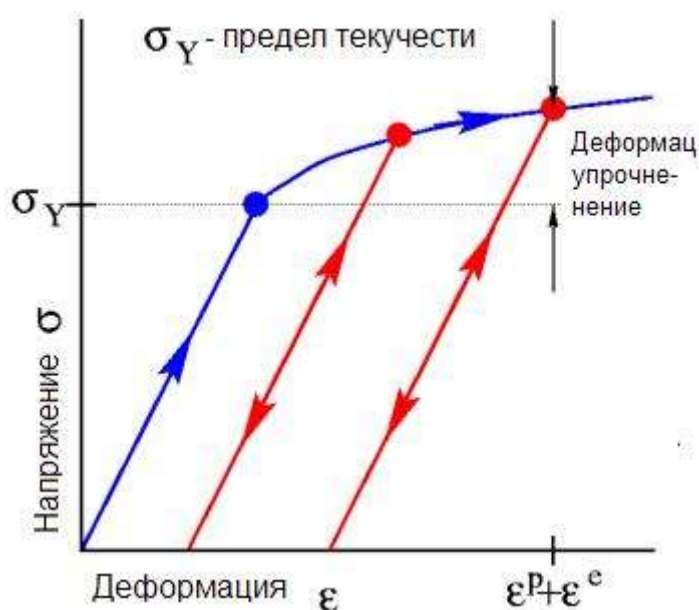


Рисунок 3 - Увеличение предела текучести металла после его нагружения выше предела текучести

Наклеп может быть желательным и нежелательным, полезным и вредным. Если наклеп металла является полезным, то при его изготовлении стремятся применять операции холодного пластического деформирования: холодную прокатку, волочение, обработку дробью, галтовку, накатку и тому подобное. Это особенно важно для металлов и сплавов, которые не способны упрочняться термически. К этим материалам относятся низкоуглеродистые стали, некоторые алюминиевые сплавы, а также чистая медь. Когда эти материалы подвергаются сжатию, волочению, гибке или ковке, то напряжения, которые при этом возникают, приводят к возникновению в

кристаллической структуре дислокаций, которые упрочняют металл. В этом случае применяют оба термина: и наклеп, и нагартовка.

Порядок выполнения работы:

- 1.Подготовить рабочее место;
- 2.Прочитать инструкцию к лабораторной работе;
- 3.Выполнить лабораторную работу;
4. Оформить отчет о работе;
5. Защитить лабораторную работу.

Ход работы:

1.Изучить инструкцию к данной лабораторной работе
2.Пронумеровать образцы, измерить их толщину в средней части. Результаты занести в таблицу.

3.Первые образцы из каждой пары отложить, а остальные прокатать последовательно с относительным обжатием 25, 50 и 75% за один или несколько проходов. Измерить толщину образцов после прокатки и их твердость. Твердость измерять в трех местах по длине образца – одно измерение по середине и два измерения на расстоянии примерно 5 мм от передней и задней кромки. Результаты измерений занести в таблицу.

4.По полученным замерам для каждого образца определить: абсолютное, относительное обжатие, среднюю твердость. Результаты расчетов занести в таблицу.

Форма представления результата: отчета о проделанной работе должен содержать название и цель работы, описание хода работы, таблицу искомых величин, диаграмму наклепа испытанных материалов ($HV=f(\varepsilon_n)$), выводы о влиянии холодной деформации на механические свойства металла.

Критерии оценки:

Процент результативности (правильных ответов)	Качественная оценка индивидуальных образовательных достижений	
	балл (отметка)	вербальный аналог
90 ÷ 100	5	отлично
80 ÷ 89	4	хорошо
70 ÷ 79	3	удовлетворительно
менее 70	2	не удовлетворительно

Тема 1.4 Сопротивление деформации и пластичность металлов и сплавов

Лабораторная работа № 3

Уравнение постоянства объема и коэффициенты деформации при прокатке на стане ДУО-130

Цель работы: проверить закон постоянства объема на практике. Научиться определять коэффициенты деформации при прокатке.

Выполнив работу, Вы будете:

уметь:

- применять типовые методики определения параметров обработки металлов давлением;
- выбирать справочные данные, характеризующие взаимосвязи структуры и свойств обрабатываемых металлов и сплавов, для обеспечения выпуска продукции с заданными свойствами;

Материальное обеспечение:

- инструкция по выполнению лабораторных работ;
- лабораторный стан;
- штангенциркуль;
- образец из свинца.

Оборудование: лабораторный автоматизированный прокатный стан ДУО-130.

Задание:

Прокатать и измерить образец. Произвести расчеты объема металла до и после прокатки.

Краткие теоретические сведения:

Закон постоянства объема: объем тела до деформации равен его объему после деформации.

При обработке давлением, при прокатке, происходит уменьшение высоты, увеличение ширины и длины. Объем же металла не изменяется. Пластическая деформация литого металла сопровождается незначительным (1-3 %) изменением объема, в результате чего плотность его несколько возрастает за счет ликвидации имеющихся в нем пустот.

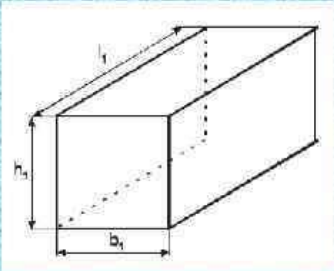
Уравнение постоянства и объема широко применяется для расчета размеров тела при всех видах обработки металлов давлением. Зная начальные размеры тела, нетрудно определить конечные размеры и наоборот.

Законы пластической деформации

1. Закон постоянства объема

Объем заготовки(детали) при обработке давлением остается постоянным.

Закон основан на том, что при обработке давлением плотность металла изменяется незначительно (всего на 0,1...0,2%).



Для параллелепипеда со сторонами l, h, b выполняется следующее соотношение

$$h_1 \cdot b_1 \cdot l_1 = h_2 \cdot b_2 \cdot l_2$$

Данный закон используется при расчетах технологических операций, так как позволяет связать размеры тела до пластической обработки, в момент обработки и после неё.

Закон постоянного объема используется для:

- определения объема исходного металла;
- определения числа (операций) переходов.

Закон также применяется при расчете заготовок под штамповку в закрытых штампах и при расчете поковок сложной конфигурации.

Порядок выполнения работы:

1. Получите исходный образец у преподавателя.
2. Измерьте его высоту, ширину и длину с помощью штангенциркуля.
3. Прокатайте образец с абсолютным обжатием 3 мм.
4. Измерьте размеры образца после прокатки.
5. Прокатайте этот образец еще два раза с абсолютным обжатием 3мм и 2 мм за каждый проход.
6. Измерьте размеры образца после каждого прохода и занесите в таблицу.
7. Рассчитайте объем металла до и после прокатки.
8. Результаты занесите в таблицу.

Таблица 2 – Коэффициенты деформации при прокатке

Номер прохода	H, мм	Δh , мм	μ	λ	E_h %	Λ_n	$E_{h \text{ сум}}$ %
1							
2							
3							

Ход работы:

Изучить инструкцию к данной лабораторной работе

Прокатайте образец, размерами 100x10мм за три прохода с обжатием в каждом проходе примерно 0,5; 1,0; 3,0мм соответственно

Рассчитайте для каждого прохода: суммарное абсолютное обжатие, объем образца, относительную ошибку.

Форма представления результата: Отчет о проделанной работе должен содержать название и цель работы, описание хода работы, эскиз образца, таблицу измерений и искомых величин, расчеты искомых величин, вывод.

Критерии оценки:

Процент результативности (правильных ответов)	Качественная оценка индивидуальных образовательных достижений	
	балл (отметка)	вербальный аналог
90 ÷ 100	5	отлично
80 ÷ 89	4	хорошо
70 ÷ 79	3	удовлетворительно
менее 70	2	не удовлетворительно

Тема 1.4 Сопротивление деформации и пластичность металлов и сплавов

Лабораторная работа № 4

Проверка закона наименьшего сопротивления.

Цель работы: Экспериментальная проверка справедливости закона наименьшего сопротивления на основе исследования принципа наименьшего периметра при различных условиях трения на контакте.

Выполнив работу, Вы будете:

уметь:

- применять типовые методики определения параметров обработки металлов давлением;
- выбирать справочные данные, характеризующие взаимосвязи структуры и свойств обрабатываемых металлов и сплавов, для обеспечения выпуска продукции с заданными свойствами

Материальное обеспечение:

- инструкция по выполнению лабораторных работ;
- 2 плоские шлифованные подкладные плиты;
- штангенциркуль;
- свинцовые образцы.

Оборудование: не требуется.

Задание:

Осадить образцы размерами 20x20x20мм и 20x40x20мм на прессе, произвести замеры после деформации и сделать расчеты высотной деформации.

Краткие теоретические сведения:

В случае возможности перемещения точек деформируемого тела в различных направлениях, каждая точка деформируемого тела перемещается в направлении наименьшего сопротивления.

При свободной ковке возможно свободное формоизменение металла в горизонтальной плоскости, т. е. перемещение точек деформируемого металла может происходить в различных поперечных направлениях. Каждая точка деформируемого тела перемещается в горизонтальной плоскости в том направлении, в котором создается наименьшее сопротивление ее перемещению со стороны контактных сил трения. Тормозящее действие этих сил проявляется тем сильнее, чем больше протяженность контакта инструмента и деформируемого тела в данном направлении. Скорость перемещения точек деформируемого тела в этом направлении тем меньше, чем больше протяженность контакта. случае возможности перемещения точек деформируемого тела в различных направлениях, каждая точка деформируемого тела перемещается в направлении наименьшего сопротивления.

Порядок выполнения работы:

- 1.Подготовить рабочее место;
- 2.Прочитать инструкцию к лабораторной работе;
- 3.Выполнить лабораторную работу;
4. Оформить отчет о работе;
5. Защитить лабораторную работу.

Ход работы:

Изучить инструкцию к данной лабораторной работе

Осадить свинцовый образец размерами 20х20х20хмм до конечной толщины 6-7мм на сухих шероховатых и смазанных полированных бойках. После осадки измерить образец и рассчитать относительную высотную деформацию. Осадить образец размерами 20х40х20мм до конечной толщины 3-5мм. После осадки измерить образец и рассчитать относительную высотную деформацию.

Форма представления результата:

Отчет о проделанной работе должен содержать название и цель работы, расчеты относительной высотной деформации и эскизы контактной поверхности образцов в исходном состоянии и после каждой операции осадки, выводы.

Критерии оценки:

Процент результативности (правильных ответов)	Качественная оценка индивидуальных образовательных достижений	
	балл (отметка)	вербальный аналог
90 ÷ 100	5	отлично
80 ÷ 89	4	хорошо
70 ÷ 79	3	удовлетворительно
менее 70	2	не удовлетворительно

Тема 1.4 Сопротивление деформации и пластичность металлов и сплавов

Практическая работа № 1

Расчет абсолютных и относительных величин, характеризующих деформацию

Цель работы: научиться рассчитывать величины пластической деформации при обработке металлов давлением.

Выполнив работу, Вы будете:

уметь:

- применять типовые методики определения параметров обработки металлов давлением;

- выбирать справочные данные, характеризующие взаимосвязи структуры и свойств обрабатываемых металлов и сплавов, для обеспечения выпуска продукции с заданными свойствами

Материальное обеспечение: методические указания к практической работе.

Оборудование: не применяется

Задание: по полученным индивидуальным данным рассчитать показатели пластической деформации.

Краткие теоретические сведения:

Основные величины, характеризующие деформацию

Основными величинами, характеризующими деформацию при прессовании, являются коэффициент вытяжки:

$$\mu = \frac{F_0 - F_1}{F_0} \cdot 100\%,$$

и степень деформации:

$$\mu = \frac{F_0}{F_1},$$

где F_0 – площадь поперечного сечения заготовки;
 F_1 – площадь поперечного сечения получаемого профиля.

Степень деформации влияет на величину и равномерность механических свойств полученного материала, а также на усилие прессования.

Некоторые общие понятия и определения теории обработки металлов давлением

Величины, характеризующие деформацию в процессах ОМД

Вторая группа – это абсолютные величины, широко используемые при выполнении технологических расчетов:

$\Delta h = h_0 - h_1$ – *абсолютное обжатие*, характеризует в абсолютных единицах (м, мм и др.) изменение размера по высоте;

$\Delta b = b_1 - b_0$ – *абсолютное уширение* – изменение размера по ширине;

$\Delta l = l_1 - l_0$ – *абсолютное удлинение* – изменение размера по длине.

Для сравнительной оценки величины деформации в различных условиях (различные размеры исходных заготовок, готовых изделий и др.) используются величины относительных деформаций:

$\varepsilon_h = (h_0 - h_1)/h_0$ – *относительная высотная деформация, или степень деформации*;

$\varepsilon_b = (b_1 - b_0)/b_0$ – *относительная поперечная деформация*;

$\varepsilon_l = (l_1 - l_0)/l_0$ – *относительная продольная деформация*.

Иногда для оценки величин относительной деформации используют отношения абсолютных деформаций не к исходному размеру, а к конечному:

$\varepsilon_h^* = (h_0 - h_1)/h_1$; $\varepsilon_b^* = (b_1 - b_0)/b_1$; $\varepsilon_l^* = (l_1 - l_0)/l_1$.

Относительные деформации первой группы (отношение абсолютной деформации к исходному размеру) используются значительно чаще, чем второй.

Порядок выполнения работы:

1. Получить индивидуальные данные у преподавателя.
2. Ознакомиться с методическими указаниями к практической работе.
3. Выполнить расчеты.

4. Готовую работу сдать преподавателю на проверку.

Ход работы:

1. Рассчитать абсолютные деформации по толщине, ширине, длине.
2. Рассчитать относительные деформации по толщине, по ширине, по длине.
3. Оформить практическую работу в тетради.
4. Сделать выводы.

Форма представления результата: Отчет о проделанной работе должен содержать название и цель работы, расчеты относительной высотной деформации, выводы.

Критерии оценки:

Процент результативности (правильных ответов)	Качественная оценка индивидуальных образовательных достижений	
	балл (отметка)	вербальный аналог
90 ÷ 100	5	отлично
80 ÷ 89	4	хорошо
70 ÷ 79	3	удовлетворительно
менее 70	2	не удовлетворительно

Тема 1.4 Сопротивление деформации и пластичность металлов и сплавов

Практическая работа № 2

Расчет коэффициентов деформации

Цель работы: научиться рассчитывать коэффициенты деформации при обработке металлов давлением.

Выполнив работу, Вы будете:

уметь:

- применять типовые методики определения параметров обработки металлов давлением;
- выбирать справочные данные, характеризующие взаимосвязи структуры и свойств обрабатываемых металлов и сплавов, для обеспечения выпуска продукции с заданными свойствами

Материальное обеспечение: методические указания к практической работе.

Оборудование: не применяется

Задание: по полученным индивидуальным данным рассчитать коэффициенты деформации.

Краткие теоретические сведения:

В процессе прокатки изменяются линейные размеры полосы - высота (толщина) h_0 становится h_1 , ширина b_0 становится b_1 и длина l_0 становится l_1 . Рассмотрим систему показателей, которые характеризуют величину деформации в каждом из этих направлений.

Высотная деформация. Изменение высоты (толщины) полосы характеризуется следующими величинами обжатий.

Абсолютное обжатие определяется по формуле:

$$\Delta h = h_0 - h_1$$

Относительное обжатие может быть определено с различной степенью точности, в зависимости от используемого для его подсчета соотношения.

Истинное относительное обжатие определяется по формуле:

$$e_h = \ln(h_0/h_1)$$

Часто пользуются величиной условного относительного обжатия.

А) Условное относительное обжатие можно определить по формуле:

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

Б) В более редких случаях условное относительное обжатие определяют в виде:

$$E' = (h_0 - h_1) / h_1 = \Delta h / h_1$$

В) Иногда условное относительное обжатие рассчитывают по формуле:

$$E'' = (h_0 - h_1) / h_{cp} = \Delta h / h_{cp},$$

где, h_{cp} – среднеарифметическая толщина полосы.

Но наилучшее приближение к истинному относительному обжатию дает соотношение:

$$E''' = (h_0 - h_1) / h_{cp} = \Delta h / h_{cp},$$

где h_{cp} – среднегеометрическая толщина полосы.

Помимо величин Δh , e_h , E , показателем высотной деформации служит также коэффициент обжатия:

$$K_{обж} = h_1/h_0$$

Поскольку $K_{обж}$ меньше единицы, в расчетах иногда удобно пользоваться обратной величиной:

$$1/K_{обж} = h_0/h_1$$

Поперечная деформация. Изменение поперечных размеров полосы называют уширением. Показатели уширения по смыслу аналогичны показателям высотной деформации.

Абсолютное уширение подсчитывается как:

$$\Delta b = b_0 - b_1$$

Истинное относительное уширение можно определить аналогично:

$$e_b = \ln(b_1 / b_0)$$

Условное относительное уширение:

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

Коэффициент уширения:

$$K_{ушир} = (b_1/b_0)$$

Величину поперечной деформации также характеризуют отношением абсолютного уширения к абсолютному обжатию, которое называют показателем уширения:

$$a = \Delta b / \Delta h$$

Продольная деформация. Абсолютное удлинение полосы составляет:

$$\Delta l = l_1 - l_0$$

Истинное относительное удлинение:

$$\epsilon_1 = \ln(l_1 / l_0)$$

Условное относительное удлинение:

$$Q = (l_1 - l_0) / l_0 = \Delta l / l_0$$

Величины Δl , ϵ_1 , Q редко применяют на практике для характеристики продольной деформации. Вместе с тем очень широко используют показатель, называемый коэффициентом вытяжки:

$$K_{\text{выт}} = l_1 / l_0$$

Коэффициент вытяжки характеризует не только изменение длины полосы, но также изменение площади ее поперечного сечения. Действительно, из условия постоянства объема при деформации имеем:

$$F_0 l_0 = F_1 l_1,$$

где F_0 , F_1 – исходная и конечная площади поперечного сечения полосы.
Из последней формулы следует:

$$l_1 / l_0 = F_0 / F_1$$

Таким образом, коэффициент вытяжки можно определить также по соотношению площадей поперечного сечения полосы до и после прокатки:

$$K_{\text{выт}} = F_0 / F_1$$

Если технологический процесс прокатки состоит из несколько проходов полосы через валки, что бывает очень часто, то различают частные коэффициенты вытяжки (в каждом проходе) и общий суммарный коэффициент вытяжки. В соответствии с вышеприведенными формулами общий коэффициент вытяжки составляет:

$$K_{\text{выт(общ)}} = l_n / l_0 = F_0 / F_n$$

где l_n и F_n – соответственно длина и площадь поперечного сечения полосы после n-го прохода.

Взаимосвязь деформаций. Коэффициенты деформации в трех основных направлениях связаны условием постоянства объема металла. Так, для прямоугольной полосы имеем:

$$h_0 b_0 l_0 = h_1 b_1 l_1,$$

откуда следует:

$$(h_1 / h_0) (b_1 / b_0) (l_1 / l_0) = K_{\text{обж}} K_{\text{ушир}} K_{\text{выт}} = 1$$

Таким образом, произведение коэффициентов обжатия, уширения и вытяжки должно быть равно 1, иначе нарушается условие постоянства объема. Логарифмируя выражение, получим:

$$\ln(h_1 / h_0) + \ln(b_1 / b_0) + \ln(l_1 / l_0) = 0$$

Таким образом, сумма истинных относительных деформаций по трем основным направлениям равна нулю (сравните с процессом протяжки!).

Порядок выполнения работы:

1. Получить индивидуальные данные у преподавателя.
2. Ознакомиться с методическими указаниями к практической работе.
3. Выполнить расчеты.
4. Готовую работу сдать преподавателю на проверку.

Ход работы:

1. Рассчитать коэффициенты деформации по толщине, ширине, длине.
2. Оформить практическую работу в тетради.
3. Сделать выводы.

Форма представления результата: Отчет о проделанной работе должен содержать название и цель работы, расчеты коэффициентов деформации, выводы.

Критерии оценки:

Процент результативности (правильных ответов)	Качественная оценка индивидуальных образовательных достижений	
	балл (отметка)	вербальный аналог
90 ÷ 100	5	отлично
80 ÷ 89	4	хорошо
70 ÷ 79	3	удовлетворительно
менее 70	2	не удовлетворительно

Тема 1.5 Методы расчета формоизменения очага деформации

Практические работы № 3,4

Расчет параметров, характеризующих очаг деформации.

Построение очага деформации по расчетным данным

Цель работы: с помощью теоретических расчетов по формулам научиться определять величины, характеризующие деформацию и строить очаг деформации.

Выполнив работу, Вы будете:

уметь:

- применять типовые методики определения параметров обработки металлов давлением;
- выбирать справочные данные, характеризующие взаимосвязи структуры и свойств обрабатываемых металлов и сплавов, для обеспечения выпуска продукции с заданными свойствами;

Материальное обеспечение: методические указания к практической работе.

Оборудование: не применяется.

Задание: По индивидуальным данным рассчитать параметры очага деформации. Построить очаг деформации.

Краткие теоретические сведения:

О величине деформации судят по изменению размеров деформируемого тела, причем существует несколько показателей деформации. Ознакомимся с ними на простейшем примере деформации параллелепипеда. Пусть размеры тела до деформации следующие: 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.

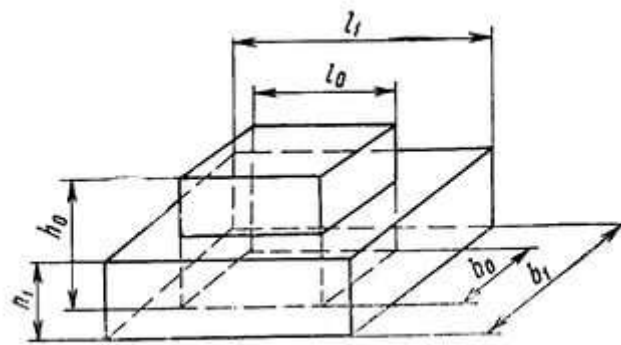


Рисунок 4 – Схема к определению характеристик величины деформации
Абсолютные деформации:

$$\text{обжатие } \Delta h = h_0 - h_1;$$

$$\text{удлинение } \Delta l = l_1 - l_0;$$

$$\text{уширение } \Delta b = b_1 - b_0.$$

Абсолютные показатели неполно характеризуют величину деформации, так как не учитывают размеры деформируемого изделия. Более удобны относительные показатели, называемые степенью деформации:

$$\text{относительное обжатие } \varepsilon_h = (h_0 - h_1)/h_0 = \Delta h/h_0;$$

$$\text{относительное уширение } \varepsilon_b = (b_1 - b_0)/b_0 = \Delta b/b_0;$$

$$\text{относительное удлинение } \varepsilon_L = (l_1 - l_0)/l_0 = \Delta l/l_0.$$

Порядок выполнения работы:

1. Ознакомиться с методическими указаниями к практической работе.
2. Получить данные для расчетов у преподавателя.
3. Выполнить задание.

Ход работы:

1. Рассчитать абсолютные деформации по толщине, ширине, длине.
2. Рассчитать относительные деформации по толщине, по ширине, по длине.
3. Построить очаг деформации по результатам.
3. Оформить практическую работу.
4. Сделать выводы.

Форма представления результата: Отчет о проделанной работе должен содержать название и цель работы, расчеты параметров очага деформации, очаг деформации, выводы.

Критерии оценки:

Процент результативности (правильных ответов)	Качественная оценка индивидуальных образовательных достижений	
	балл (отметка)	вербальный аналог
90 ÷ 100	5	отлично
80 ÷ 89	4	хорошо
70 ÷ 79	3	удовлетворительно
менее 70	2	не удовлетворительно

Тема 1.6 Трение в процессах обработки металлов давлением

Лабораторная работа № 5

Определение коэффициента трения на лабораторном стане ДУО-130

Цель работы: Изучение и углубление знаний по исследованию деформации металла в начальный момент при захвате металла валками; приобретение навыков работы на прокатном оборудовании; исследование эффективности смазки при прокатке.

Выполнив работу, Вы будете:

уметь:

- применять типовые методики определения параметров обработки металлов давлением;
- выбирать справочные данные, характеризующие взаимосвязи структуры и свойств обрабатываемых металлов и сплавов, для обеспечения выпуска продукции с заданными свойствами;

Материальное обеспечение:

- инструкция по выполнению лабораторных работ;
- штангенциркуль;
- образцы из свинца в форме прямоугольного параллелепипеда размерами 100х10мм;
- мел ученический.

Оборудование: лабораторный автоматизированный прокатный стан ДУО-130

Задание:

Определить коэффициент трения в начальный момент захвата металла валками и при установившемся процессе прокатки.

Краткие теоретические сведения:

Определяющим фактором процесса прокатки является коэффициент трения, влияющий на захватывающую способность валков, процесс прокатки, уширение и опережение, силовые условия и др. Для экспериментального определения коэффициента трения используется несколько способов, простейшим из которых является способ максимального угла захвата. При соприкосновении металла с валками на него действуют две силы N , нормально направленные к поверхности валков в точке соприкосновения металла с валками, и две силы трения T , направленные по касательной в точке соприкосновения.

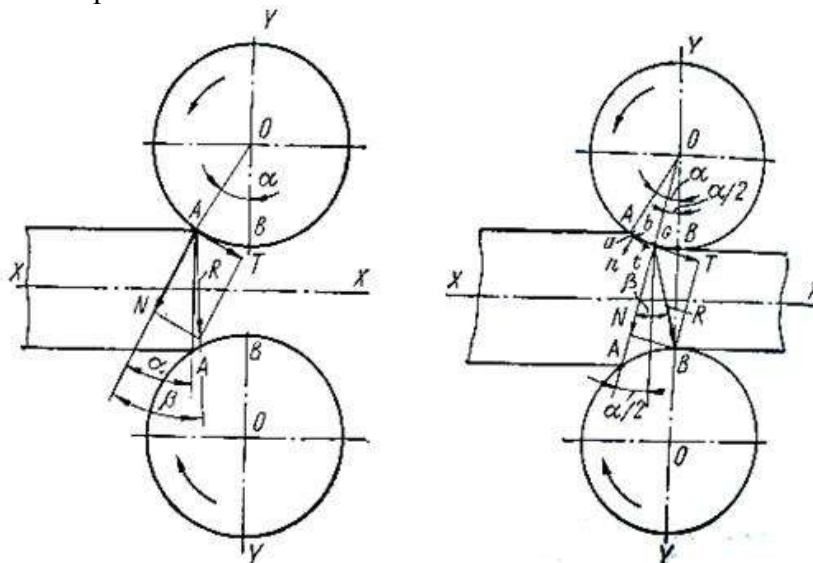


Рисунок 5 – Равновесие сил при естественном захвате

Сила $N_x = N \cdot \sin \alpha$ стремится вытолкнуть металл из валков, а сила $T_x = T \cdot \cos \alpha$ – втянуть металл в валки. Очевидно, что захват металла валками произойдет, если $T \cdot \cos \alpha \geq N \cdot \sin \alpha$.

Угол α , образованный направлением действия нормальной силы N и геометрической осью OO' , соответствующий углу, при котором осуществляется захват металла силами трения T и втягивание его в очаг деформации, называется углом захвата.

Для анализа условий захвата рассмотрим простой процесс прокатки, который характеризуется следующими условиями:

оба валка приводные, имеют одинаковый диаметр и одинаковое число оборотов; прокатываемый материал однороден в отношении пластических свойств и на него действуют только силы, приложенные от валков ($Q=U=0$).

Условия захвата металла валками Из рисунка видно, что горизонтальная составляющая силы трения T_x стремится втянуть металл в валки, горизонтальная составляющая нормальной силы N_x препятствует началу прокатки.

Отсюда следуют три условия:

1) при $N_x > T_x$ выталкивающие силы больше втягивающих – прокатка невозможна;

2) при $N_x = T_x$ валки будут скользить (буксовать) по металлу – процесс равновесия;

3) при $N_x < T_x$ втягивающие силы больше выталкивающих, металл захватывается валками – прокатка осуществляется

Силы трения T при прокатке связаны с силами нормального давления N законом Кулона:

$$T = f \cdot N$$

где f – коэффициент трения.

Для осуществления захвата металла валками и начала прокатки необходимо, чтобы

$$T_x > N_x .$$

Тогда, с учетом закона постоянства объема в лабораторной работе №2 и (1) условие захвата металла валками запишется следующим образом:

$$\operatorname{tg} \alpha < f$$

Таким образом, захват металла валками в начальный момент прокатки произойдет при условии, когда тангенс угла захвата будет меньше коэффициента трения.

Коэффициент трения представляет собой тангенс угла трения:

$$f = \operatorname{tg} \beta ,$$

где β – угол трения.

Угол трения образован направлением нормальной силы N и силы R , являющейся результирующей (суммарной) для сил N и T (рис. 1). Из формул следует, что условие захвата металла валками в начальный момент прокатки можно записать в виде:

$$\alpha < \beta$$

т.е. захват металла валками в начальный момент прокатки произойдет при условии, когда угол захвата будет меньше угла трения.

На рисунке даны схемы взаимосвязи между углом захвата α и углом трения β . Из схем видно, что начало прокатки возможно в случае, когда результирующая сила R отклонена от геометрической оси OO' в сторону направления прокатки, т.е. когда $\alpha < \beta$. Угол захвата α определяется из геометрических соотношений:

$$\alpha = \arccos(1 - \Delta h \max D),$$

где D – диаметр рабочих валков, мм.

В случае установившегося процесса прокатки при рассмотрении условия захвата следует учитывать уже не полный угол захвата α , а лишь ту его часть, под которой располагается равнодействующая элементарных реактивных сил, т.е. $\alpha/2$. Тогда условие захвата приближенно характеризуется неравенством:

$$\alpha < 2 \cdot \beta.$$

Таким образом, установившийся процесс прокатки осуществим легче, чем его начальная стадия (захват). Поскольку, однако, всякий случай прокатки должен начинаться со стадии естественного захвата полосы валками, то после заполнения зева валков металлом (установившийся процесс) образуется избыток сил трения, расходуемый на развивающееся в связи с этим опережение металла. Искусственный захват, может быть произведен либо вдавливанием слитка в валки внешней силой, либо задачей в валки конусного слитка, либо дополнительным сближением валков после естественного захвата.

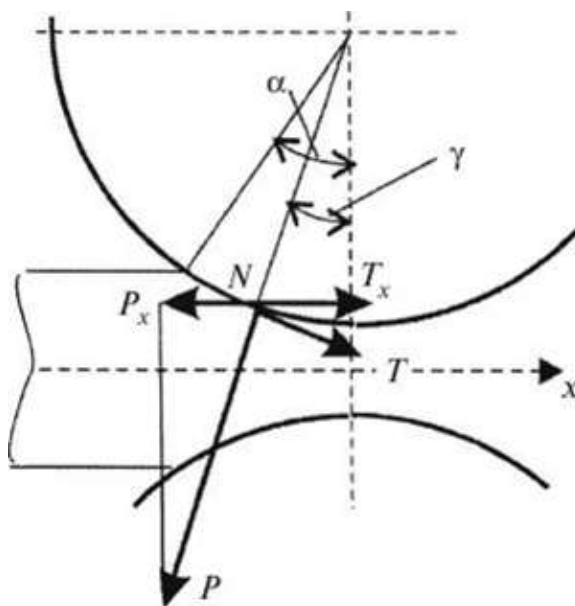


Рисунок 6 – Схема сил при установившемся процессе прокатки

Порядок выполнения работы:

1. Подготовить по одному образцу на каждый вариант прокатки – напильником снять заусенцы и запилить передний торец под угольник.
2. Измерить начальную толщину h_0 образцов.
3. Подготовить поверхности валков и образцов согласно варианту прокатки (при прокатке на машинном масле передний торец образца не смазывать).
4. Установить образец на стол стана.
5. Свести валки до расстояния 0,5 мм, включить привод валков
6. С помощью деревянного бруска без нажима подвести образец его передним торцом к вращающимся валкам.

7. Постепенно увеличивать раствор валков до момента, когда начнется легкое дрожание и подергивание образца, после чего осуществляется захват его валками и последующая прокатка.

8. Измерить толщину h_1 образца после прокатки.

9. Опытные данные занести в таблицу.

10. Повторить пункты 3-9 три раза для одного образца, последовательно обжимая его в каждом проходе.

11. Используя результаты измерений обжатий, занесенные в таблицу, вычислить величину относительного обжатия для каждого варианта прокатки.

12. Рассчитать величины угла захвата по формуле и среднее арифметическое значение угла захвата $\bar{\alpha}$.

13. С учетом среднего значения угла захвата $\bar{\alpha}$ определить коэффициент трения $f = \tan \bar{\alpha}$.

Таблица 3 – Результаты измерений и расчетов

Вариант прокатки	Опыт	h_0 мм	h_1 мм	Δh мм	E_h %	α	$\bar{\alpha}$	f
Сухие валки	1							
	2							
	3							
Валки с мелом	1							
	2							
	3							

Ход работы:

1. Исследование начальной стадии процесса захвата

Измерить толщину образца до и после прокатки на сухих валках. Исходя из полученных величин, рассчитать максимальный угол захвата, угол трения и коэффициент трения при захвате металла валками по приведенным в инструкции формулам. То же самое сделать на смазанных маслом валках. Результаты занести в таблицу №1.

2. Исследование установившегося процесса прокатки.

Валки установить так, чтобы при прокатке возникло буксование. После этого валки остановить, раздвинуть их и извлечь клин. Толщину клина измерить в двух местах. Затем валки смазать маслом и повторить опыт. Результаты занести в таблицу №2. Исходя из полученных величин, рассчитать максимальный угол касания, угол трения, коэффициент трения в установившемся процессе прокатки по приведенным в инструкции формулам.

Результаты экспериментов и расчетов привести в таблицах №1 и №2.

Форма представления результата: Отчет о проделанной работе должен содержать название и цель работы, описание хода работы с рисунками исходного и прокатанного клина, таблицу измерений и расчеты. Выводы.

Критерии оценки:

Процент результативности (правильных ответов)	Качественная оценка индивидуальных образовательных достижений	
	балл (отметка)	вербальный аналог
90 ÷ 100	5	отлично
80 ÷ 89	4	хорошо
70 ÷ 79	3	удовлетворительно
менее 70	2	не удовлетворительно

Тема 1.7 Методы расчета коэффициента трения

Практическая работа № 5,6

Определение коэффициента трения при горячей прокатке Определение коэффициента трения при холодной прокатке

Цель работы: с помощью теоретических расчетов по формулам научиться определять коэффициент трения при горячей и холодной прокатке.

Выполнив работу, Вы будете:

уметь:

- применять типовые методики определения параметров обработки металлов давлением;
- выбирать справочные данные, характеризующие взаимосвязи структуры и свойств обрабатываемых металлов и сплавов, для обеспечения выпуска продукции с заданными свойствами;

Материальное обеспечение: методические указания к практической работе

Оборудование: не применяется

Задание:

1. Решение задач.

Краткие теоретические сведения:

В процессе прокатки контактное трение играет особую роль, так как оно лежит в основе этого процесса. С действием сил трения связаны все основные явления прокатки. Процесс прокатки состоит из трех стадий.

В первой стадии происходит заполнение металлом очага деформации, которое начинается с момента соприкосновения переднего конца раската с валками и заканчивается в момент достижения плоскости выхода. Вторая стадия начинается с момента выхода переднего конца из валков и заканчивается при достижении заднего конца плоскости выхода. В этот момент начинается третья стадия и заканчивается выходом заднего конца из валков. Первая и третья стадии носят название неустановившегося процесса прокатки, так как при этом все параметры очага деформации меняются. Вторая стадия – установившийся процесс прокатки, так как в этот период параметры очага деформации остаются неизменными.

Для начала процесса прокатки необходим захват металла валками. В момент захвата на полосу действуют две силы – числа нормального давления – N .

Для осуществления захвата необходимо, чтобы горизонтальная составляющая силы трения была равна или превышала горизонтальную составляющую силы нормального давления

$$T_{\Gamma} \geq N_{\Gamma}.$$

$$T = f_3 N,$$

$$T_{\Gamma} = f_3 N \cos \alpha \text{ и } N_{\Gamma} = N \sin \alpha,$$

где f_3 – коэффициент трения при захвате;

α – угол захвата,

то получим условие, необходимое для захвата

$$f_3 N \cos \alpha \geq N \sin \alpha.$$

Окончательно получаем $f_3 \geq \tan \alpha$.

Для осуществления захвата необходимо, чтобы равнодействующая была отклонена от вертикали по ходу прокатки, т. е. $\tan \alpha < f_3$.

При $f_3 = \tan \alpha$ полоса находится в неустойчивом положении и захват может произойти или не произойти, в зависимости от того куда сдвинут равновесие сил различные случайные факторы (изменение составления полосы и валков, скорости прокатки и др.).

В установившемся процессе прокатки $f_y > \frac{1}{2} \tan \alpha$ в силу допущения, что нормальные контактные напряжения распределены равномерно по дуге захвата, а контактные силы трения по всей дуге захвата направлены в сторону движения полосы.

Рассматривая условия захвата $f_3 > \frac{1}{2} \tan \alpha$, можно сделать следующие выводы:

1. Установившийся процесс прокатки может устойчиво протекать до тех пор, пока угол захвата не превысит в два раза коэффициент трения.

2. В установившемся процессе прокатки можно в два раза увеличить угол захвата, а следовательно увеличить обжатие. Если же обжатие остаётся без изменения, то в очаге деформации возникают избыточные силы трения, которые способствуют увеличению скорости движения полосы, что приводит к появлению зоны опережения, где скорость полосы больше окружной скорости валков.

Для экспериментального определения коэффициента трения при установившемся процессе применяются следующие способы:

- клещевой метод торможения полосы в валках;
- метод определения по опережению;
- метод крутящего момента;
- метод предельного обжатия (максимального угла касания) и др.

В настоящей работе коэффициент трения определяется по последнему из указанных методов.

Так как установлено, что в момент буксования распределение удельного давления по дуге контакта близко к равномерному, то применяется $\Psi=0,5$.

$\cos$ угла захвата по формуле:

$$\cos \alpha = 1 - (H - L/D) = 1 - \Delta h/D.$$

Угол захвата α по формуле:

$$\alpha = \arccos (1 - \Delta h/D)$$

Угол захвата α в радианах по формуле:

$$\alpha = 57,3 \sqrt{\Delta h \cdot R}.$$

Так как в начальный момент захвата выполняется условие $\alpha = \beta$, то коэффициент трения определяем по формуле:

$$f = \tan \alpha$$

4. Коэффициент трения определяют по формуле Эжелунда:

$$f = k(1,05 - 0,005 \cdot t),$$

где t – температура прокатки;

k – коэффициент учитывающий материал валков,

$k = 1$ – для стальных валков.

5. При холодной прокатки коэффициент трения определяют по формуле:

$$f_x = k \cdot (0,07 - [0,1 \cdot V^2 / (2 \cdot (1+V) + 3V^2)]),$$

$k = 1,55$ – валки сухие;

- $k = 1,35$ – смазанные машинным маслом;
 $k = 1,6$ – с мелом;
 $k = 1$ – эмульсией (10% масла), керосином.

Порядок выполнения работы:

1. Ознакомиться с методическими указаниями к практической работе.
2. Получить у преподавателя индивидуальные данные.
3. Выполнить задание.
4. Оформить практическую работу.

Ход работы:

1. Рассчитать искомые величины по формулам.
2. Оформить расчеты в рабочей тетради.
3. Сделать выводы.
4. Сдать работу преподавателю для оценивания.

Форма представления результата: Отчет о проделанной работе должен содержать название и цель работы, описание хода работы с формулами и расчетами, выводы.

Критерии оценки:

Процент результативности (правильных ответов)	Качественная оценка индивидуальных образовательных достижений	
	балл (отметка)	вербальный аналог
$90 \div 100$	5	отлично
$80 \div 89$	4	хорошо
$70 \div 79$	3	удовлетворительно
менее 70	2	не удовлетворительно

Тема 1.8 Захват металла валками при обработке металлов давлением

Лабораторная работа № 6

Условие захвата металла валками. Определение коэффициента трения на лабораторном стане ДУО-130

Цель работы: Изучение и углубление знаний по исследованию деформации металла в начальный момент при захвате металла валками; приобретение навыков работы на прокатном оборудовании; исследование эффективности смазки при прокатке.

Выполнив работу, Вы будете:

уметь:

- применять типовые методики определения параметров обработки металлов давлением;
- выбирать справочные данные, характеризующие взаимосвязи структуры и свойств обрабатываемых металлов и сплавов, для обеспечения выпуска продукции с заданными свойствами;

Материальное обеспечение:

- инструкция по выполнению лабораторных работ;
- штангенциркуль;
- образцы из свинца в форме прямоугольного параллелепипеда размерами 100x10мм;
- мел ученический.

Оборудование: лабораторный автоматизированный прокатный стан ДУО-130

Задание:

Определить коэффициент трения в начальный момент захвата металла валками и при установившемся процессе прокатки.

Краткие теоретические сведения:

Определяющим фактором процесса прокатки является коэффициент трения, влияющий на захватывающую способность валков, процесс прокатки, уширение и опережение, силовые условия и др. Для экспериментального определения коэффициента трения используется несколько способов, простейшим из которых является способ максимального угла захвата. При соприкосновении металла с валками на него действуют две силы N , нормально направленные к поверхности валков в точке соприкосновения металла с валками, и две силы трения T , направленные по касательной в точке соприкосновения.

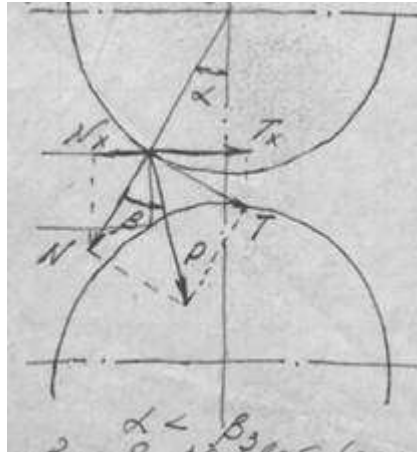


Рисунок 7 – Силы. Действующие при захвате металла валками

Проектируя силы N и T на ось прокатки x и исходя из условия равновесия всех сил в зоне деформации, получим:

$$N_x = T_x.$$

Сила $N_x = N \cdot \sin \alpha$ стремится вытолкнуть металл из валков, а сила $T_x = T \cdot \cos \alpha$ – втянуть металл в валки.

Очевидно, что захват металла валками произойдет, если

$$T \cdot \cos \alpha \geq N \cdot \sin \alpha.$$

Угол α , образованный направлением действия нормальной силы N и геометрической осью OO' , соответствующий углу, при котором осуществляется захват металла силами трения T и втягивание его в очаг деформации, называется углом захвата. Для анализа условий захвата рассмотрим простой процесс прокатки, который характеризуется следующими условиями: оба валка приводные, имеют одинаковый диаметр и одинаковое число оборотов; прокатываемый материал однороден в отношении пластических свойств и на него действуют только силы, приложенные от валков ($Q=U=0$).

Условия захвата металла валками Из рис. видно, что горизонтальная составляющая силы трения T_x стремится втянуть металл в валки, горизонтальная составляющая нормальной силы N_x препятствует началу прокатки.

Отсюда следуют три условия:

- 1) при $N_x > T_x$ выталкивающие силы больше втягивающих – прокатка невозможна;
- 2) при $N_x = T_x$ валки будут скользить (буксовать) по металлу – процесс равновесия;
- 3) при $N_x < T_x$ втягивающие силы больше выталкивающих, металл захватывается валками – прокатка осуществляется.

Для осуществления захвата металла валками и начала прокатки необходимо, чтобы

$$T_x > N_x.$$

Тогда, с учетом закона постоянства объема и условия захвата металла валками запишется следующим образом:

$$\operatorname{tg} \alpha < f$$

Таким образом, захват металла валками в начальный момент прокатки произойдет при условии, когда тангенс угла захвата будет меньше коэффициента трения.

Коэффициент трения представляет собой тангенс угла трения:

$$f = \operatorname{tg} \beta,$$

где β – угол трения.

Угол трения образован направлением нормальной силы N и силы R , являющейся результирующей (суммарной) для сил N и T . Из формул (2) и (3) следует, что условие захвата металла валками в начальный момент прокатки можно записать в виде:

$$\alpha < \beta \text{ т.е.}$$

захват металла валками в начальный момент прокатки произойдет при условии, когда угол захвата будет меньше угла трения.

Таким образом, установившийся процесс прокатки осуществим легче, чем его начальная стадия (захват). Поскольку, однако, всякий случай прокатки должен начинаться со стадии естественного захвата полосы валками, то после заполнения зева валков металлом (установившийся процесс) образуется избыток сил трения, расходуемый на развивающееся в связи с этим опережение металла. Искусственный захват, может быть произведен либо вдавливанием слитка в валки внешней силой, либо задачей в валки конусного слитка, либо дополнительным сближением валков после естественного захвата.

Порядок выполнения работы:

1. Подготовить по одному образцу на каждый вариант прокатки – напильником снять заусенцы и зашлифовать передний торец под угольник.
2. Измерить начальную толщину h_0 образцов.
3. Подготовить поверхности валков и образцов согласно варианту прокатки (при прокатке на машинном масле передний торец образца не смазывать).
4. Установить образец на стол стана.
5. Свести валки до расстояния 0,5 мм, включить привод валков.
6. С помощью деревянного бруска без нажима подвести образец его передним торцом к вращающимся валкам.
7. Постепенно увеличивать раствор валков до момента, когда начнется легкое дрожание и подергивание образца, после чего осуществляется захват его валками и последующая прокатка.
8. Измерить толщину h_1 образца после прокатки.
9. Опытные данные занести в таблицу.
10. Повторить пункты 3-9 три раза для одного образца, последовательно обжимая его в каждом проходе.
11. Используя результаты измерений обжатий, занесенные в таблицу, вычислить величину относительного обжатия для каждого варианта прокатки.
12. Рассчитать величины угла захвата по формуле и среднее арифметическое значение угла захвата $\bar{\alpha}$.
13. С учетом среднего значения угла захвата $\bar{\alpha}$ определить коэффициент трения $f = \operatorname{tg} \bar{\alpha}$.

Ход работы:

Исследовать два варианта прокатки: валки и образец сухие (обезжирены спиртом); валки и образец смазаны мелом. Итоги исследований занести в таблицу. Сделать выводы.

Вариант прокатки	опыт	H_0 мм	H_1 мм	Δh мм	Eh %	α	$\underline{\alpha}$	f
Сухие валки	1							
	2							
	3							
Валки с мелом	1							
	2							
	3							

Форма представления результата: Отчет о проделанной работе должен содержать название и цель работы, краткие теоретические сведения, результаты измерений, выводы.

Критерии оценки:

Процент результативности (правильных ответов)	Качественная оценка индивидуальных образовательных достижений	
	балл (отметка)	вербальный аналог
90 ÷ 100	5	отлично
80 ÷ 89	4	хорошо
70 ÷ 79	3	удовлетворительно
менее 70	2	не удовлетворительно

Тема 1.9 Опережение и отставание

Практическая работа № 7,8

Определение опережения при прокатке

Определение отставания при прокатке

Цель работы: Ознакомиться с опытной методикой определения опережения. Выявить характер влияния внешнего трения на опережение при прокатке в гладких валках. Определить расчетом коэффициент внешнего трения, используя индивидуальные данные определения опережения.

Выполнив работу, Вы будете:

уметь:

- применять типовые методики определения параметров обработки металлов давлением;
- выбирать справочные данные, характеризующие взаимосвязи структуры и свойств обрабатываемых металлов и сплавов, для обеспечения выпуска продукции с заданными свойствами;

Материальное обеспечение: методические указания к практической работе

Оборудование: не применяется

Задание: определить опережение и отставание при прокатке.

Краткие теоретические сведения

Следует отметить, что по экспериментальным кривым $T = (p(x) \text{ и } N = \phi(x))$ можно непосредственно определить величину равнодействующих сил трения в зонах отставания T_0 и опережения T_1 , равнодействующую нормальных давлений в этих же зонах, а также полное усилие прокатки.

По разности $T_0 - T$ определяется величина крутящего момента на бочке валка. При продольной периодической прокатке имеют место явления отставания, опережения и обкатки полосы. Скорость выходящей из валков полосы

больше окружной скорости валков, а скорость заднего (по ходу прокатки) конца полосы меньше проекции окружности.

Распределение металла на опережение и отставание из всего объема металла, смещаемого по направлению прокатки, определяет положение критического сечения полосы, т. е. критический угол γ .

Аналогичная картина наблюдается при прокатке. Отмечается, что уплотнение происходит только в зоне отставания, а в зоне опережения оно мало или отсутствует. В некоторых случаях в зоне опережения наблюдалось разуплотнение. Эти явления вполне закономерны, поскольку деформация материала в зоне опережения по своему характеру близка к деформации материала при экструзии.

Протяженность зоны опережения меньше протяженности зоны отставания в связи с наклоном поверхности валков в зоне деформации аналогичная осадке между наклонными плитами. Поэтому нейтральный угол γ меньше половины угла захвата. Основной поток металла относительно валков движется в направлении, противоположном направлению прокатки.

По современным представлениям, при прокатке в общем случае, как и при осадке, помимо зон опережения и отставания, в которых происходит скольжение металла по валкам, имеются две зоны торможения и зона прилипания.

Полное давление металла на валки при прокатке без натяжения направлено вертикально и представляет собой равнодействующую сил нормального давления и сил трения. Это давление можно определить суммированием вертикальных составляющих нормальных сил и сил трения в зонах отставания и опережения.

Особенность схемы прокатки труб на короткой неподвижной оправке — наличие двух резко отличных друг от друга зон в очаге деформации редуцирования и обжатия стенки. Зона редуцирования представляет участок от начала захвата гильзы до начала соприкосновения ее с оправкой (угол ρ), а зона обжатия — участок от места касания гильзы с оправкой до выхода трубы за линию центров валков (угол α_0). В этой схеме осуществлена как бы комбинированная прокатка без оправки и на внутренней жесткой оправке. При такой схеме прокатки в очаге деформации действуют следующие силы давления валков и трения P_j , $P_j - f$, P_{jj} , $P_{jj} - f$ в областях опережения и отставания P_r и $P_r /$ — в области отставания зоны редуцирования P_0 и $P_0 /$ — со стороны оправки.

Для решения некоторых вопросов прокатки удобно схему процесса прокатки изображать в системе координат, связанной с прокатываемой полосой. Отсюда видно, что процесс прокатки металла можно рассматривать как ряд последовательных его сжатий валками, вращающимися вокруг мгновенных осей, перпендикулярных к плоскости чертежа и проектирующихся в точках Л, Л и т. Д.

При каждом таком элементарном повороте валков часть металла смещается вперед по направлению прокатки и создает опережение, т. е. движется со скоростью большей, чем окружная скорость валков вторая часть течет в обратном направлении (зона отставания) и, наконец, определенная часть металла перемещается в боковые стороны, создавая уширение полосы. Рассмотренная нами схема относится к простейшему случаю прокатки, т. е. к прокатке полосы прямоугольного сечения между гладкими валками при условии равномерной деформации прокатываемого металла.

В процессе прокатки в зоне деформации происходит скольжение металла по валкам таким образом, что скорость металла на выходе из валков больше окружной скорости валков, а на входе металла в валки — меньше. Такое явление называется опережением и отставанием. Зона деформации состоит из зоны опережения и зоны отставания.

Эти две зоны разделяются нейтральным сечением, положение которого характеризуется нейтральным углом γ .

Опережение является скоростным параметром процесса прокатки и в значительной степени определяет характер распределения и величину давления

прокатки, и играет особенно большую роль при прокатке в многоклетевых непрерывных станах.

Обозначим скорость входа металла в валки V_0 , скорость выхода металла из валков – V_1 , а окружную скорость валков - V . В нейтральном сечении скорость металла и скорость валков одинаковы. Опережение выражается в процентах.

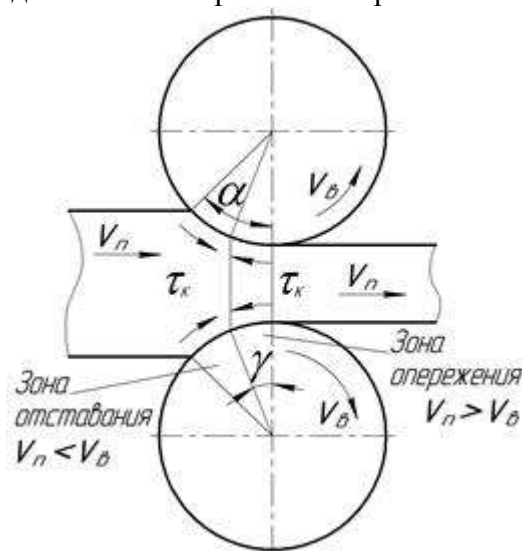


Рисунок 8 – Схема сил при опережении и отставании

Порядок выполнения работы:

1. Ознакомиться с практической работой.
2. Получить номер варианта у преподавателя.
3. По полученным данным рассчитать опережение и отставание по методике, указанной в пособии.
4. Оформить работу в рабочей тетради.
5. Сдать преподавателю на проверку.

Таблица 4 – Исходные данные

№ варианта	Толщина полосы до прокатки, мм	Диаметр валков, D , мм	Коэффициент трения, f	Относительное обжатие, %
1	50	300	0,3	20
2	80	300	0,3	20
3	100	500	0,35	25
4	120	500	0,36	25
5	130	650	0,38	25
6	150	650	0,4	26
7	180	850	0,42	26
8	200	850	0,45	27
9	250	950	0,46	30
10	300	950	0,47	30

Ход работы:

- 1) Определяем толщину полосы после прокатки
- 2) Определяем абсолютное обжатие

- 3) Определяем угол трения
- 4) Определяем угол захвата
- 5) Определяем нейтральный (критический) угол
- 6) Определяем опережение и отставание
- 7) Делаем выводы

Форма представления результата: В отчете указать цель работы, описать методику определения опережения и коэффициента трения, сделать выводы о зависимости опережения от коэффициента трения и толщины полосы после прокатки.

Критерии оценки:

Процент результативности (правильных ответов)	Качественная оценка индивидуальных образовательных достижений	
	балл (отметка)	вербальный аналог
90 ÷ 100	5	отлично
80 ÷ 89	4	хорошо
70 ÷ 79	3	удовлетворительно
менее 70	2	не удовлетворительно

Тема 1.9 Опережение и отставание

Лабораторная работа №7

Определение опережения и отставания при прокатке на лабораторном стане ДУО-130

Цель работы: определения влияния величины обжатия и условий трения на опережение.

Выполнив работу, Вы будете:

уметь:

- применять типовые методики определения параметров обработки металлов давлением;
- выбирать справочные данные, характеризующие взаимосвязи структуры и свойств обрабатываемых металлов и сплавов, для обеспечения выпуска продукции с заданными свойствами;

Материальное обеспечение:

- инструкция по выполнению лабораторных работ;
- штангенциркуль;
- образец из свинца в форме прямоугольного параллелепипеда размерами 100х10мм.

Оборудование: лабораторный автоматизированный прокатный стан ДУО-130

Задание: определить влияния величины обжатия и условий трения на опережение.

Краткие теоретические сведения:

При прокатке на выходе из очага деформации скорость полосы больше окружной скорости валков. Относительная величина, характеризующая на сколько скорость полосы на выходе из очага деформации больше окружной скорости валков, называется опережением. Опережение определяется следующим образом:

$$S = v_1 - v_v / v_v * 100\%$$

где v_v – скорость полосы на выходе из очага деформации;

v_1 – окружная скорость валков.

Опережение выражается либо в относительных единицах, либо в процентах. Скорость полосы на входе в очаг деформации v_0 всегда меньше окружной скорости валков.

Таким образом, имеет место неравенство $v_0 < v < v_1$. Если известно опережение, то скорость полосы на выходе из очага деформации согласно определится как

$$v_1 = v(1+i)$$

Опережение металла необходимо учитывать при согласовании скоростей вращения валков, что особенно важно при непрерывной прокатке. Анализ неравенства показывает, что в пределах очага деформации имеется поперечное сечение, скорости всех точек которого равны. Это сечение называют критическим, а координату его – критическим углом γ . Критическое сечение делит поверхность контакта металла с валком на две зоны: зону отставания и зону опережения. Величину опережения можно найти по формуле Головина - Дрездена:

$$I = (R/h_1) \cdot \gamma^2$$

Как видно из формулы Головина-Дрездена, чем больше радиус валков и чем меньше конечная толщина полосы, тем больше опережение. Особенно сильно зависит опережение от величины критического угла γ . Все факторы, влияющие на угол γ (угол захвата, угол трения, натяжение, сопротивление деформации и др.), оказывают влияние и на опережение.

Наиболее простым практическим методом для определения опережения является метод керновых отпечатков, который состоит в следующем. На поверхности одного из валков или на обоих валках в плоскости перпендикулярной продольной оси валка нанесены керном углубления на расстоянии в l одно от другого. После прокатки на полосе остаются отпечатки этих углублений, расстояние между которыми равно l .

Порядок выполнения работы:

1. Для исследования опережения использует два свинцовых образца одинаковых размеров (размеры образцов задаются преподавателем).
2. Перед прокаткой образцы измерить. Результаты занести в таблицу.
3. С помощью гибкой линейки определить расстояние между керновыми отметками на валках (l).
4. С помощью кронциркуля или гибкой нити определить диаметр валков.
5. Первый образец прокатать за три прохода с разными абсолютными обжатиями.
6. Валки перед каждым проходом необходимо протирать сухой чистой тряпкой. После каждого прохода измерить образец и расстояние между отпечатками кернов на полосе.
7. Второй образец прокатать при тех же режимах, что и первый, но перед каждым проходом валки натереть мелом. Так же как описано выше, измерить второй образец.
8. Определить опережение для каждого прохода

Ход работы:

В каждом проходе по известной экспериментально полученной величине опережения определить коэффициент трения для различных условий прокатки. Полученные результаты свести в таблицу.

Таблица 5 – Результаты измерений и расчетов

№ опыта	h_0 мм	h_1 мм	Δh мм	$L_{в}$ мм	L_1 мм	I %	α	f	h_1/R
Прокатка в чистых валках									
1									
2									
3									

Прокатка в наметенных валках									
1									
2									
3									

Форма представления результата: В отчете указать цель работы, описать методику определения опережения и отставания, сделать выводы.

Критерии оценки:

Процент результативности (правильных ответов)	Качественная оценка индивидуальных образовательных достижений	
	балл (отметка)	вербальный аналог
$90 \div 100$	5	отлично
$80 \div 89$	4	хорошо
$70 \div 79$	3	удовлетворительно
менее 70	2	не удовлетворительно

Тема 1.10 Уширение при обработке металлов давлением

Лабораторная работа № 8,9

Изучение влияния величины обжатия на уширение на лабораторном стане ДУО- 130

Изучение влияния ширины полосы на уширение на лабораторном стане ДУО -130

Цель работы: изучение зависимости уширения при продольной прокатке полосы прямоугольного сечения на гладкой бочке.

Выполнив работу, Вы будете:

уметь:

- применять типовые методики определения параметров обработки металлов давлением;
- выбирать справочные данные, характеризующие взаимосвязи структуры и свойств обрабатываемых металлов и сплавов, для обеспечения выпуска продукции с заданными свойствами;

Материальное обеспечение:

- инструкция по выполнению лабораторных работ;
- мел, масло;
- штангенциркуль;
- образец из свинца в форме прямоугольного параллелепипеда размерами 100x10мм.

Оборудование: лабораторный автоматизированный прокатный стан ДУО-130.

Задание: изучить зависимость уширения при продольной прокатке полосы прямоугольного сечения на гладкой бочке.

Краткие теоретические сведения:

При прокатке, наряду с удлинением металла в направлении прокатки, имеет место значительная деформация в поперечном направлении (уширение), оказывающая существенное влияние на характер протекания процесса прокатки.

Поперечной деформацией или уширением при прокатке называется увеличение ширины прокатываемого материала.

Напряженное состояние полосы при прокатке характеризуется трехосным сжатием, причем в обычных условиях прокатки продольное главное напряжение σ_3

является минимальным, поперечное σ_2 – средним, а вертикальное σ_1 – максимальным ($\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$).

Т.к. деформация металла происходит главным образом в направлении наименьшего главного напряжения, то обжимаемый металл при прокатке устремляется преимущественно в продольном направлении.

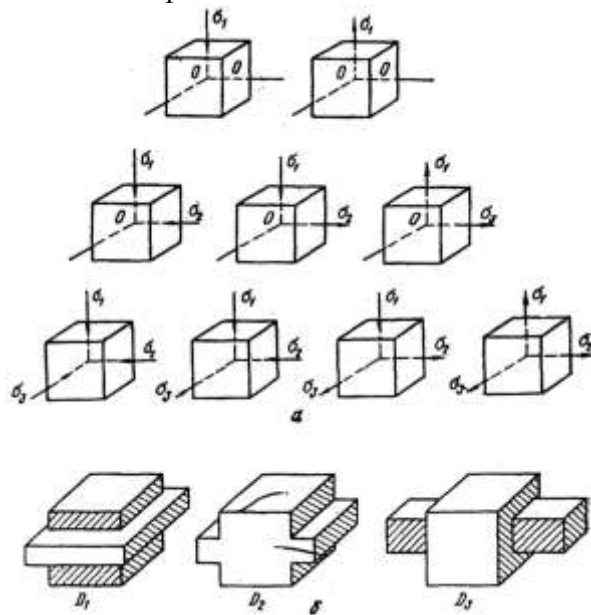


Рисунок 9 – Напряженно – деформированное состояние при прокатке

Именно по этой причине факторы, влияние которых связано с изменением объемного напряженного состояния при прокатке, прежде всего, отражаются на ходе продольной деформации.

Так, при увеличении обжатия избыток металла в большей мере идет на приращение вытяжки и в меньшей – на увеличение уширения. Весьма характерно действие таких изменений объемного напряженного состояния, при которых нарушаются условия главным образом по одной из осей деформации. В частности, если увеличивать ширину полосы, то при постоянстве всех прочих условий происходит резкое возрастание поперечных напряжений с соответствующим ростом отношения этого напряжения к продольному.

Понятно, что при этом поперечная деформация затрудняется, а продольная облегчается. Напротив, при прокатке узких полос значения главных напряжений, действующих в горизонтальной плоскости, уже более близки друг к другу, как и величина соответствующих деформаций.

При переходе к еще более узким полосам можно наблюдать смену напряжений среднего и минимального, после чего поперечная деформация происходит уже в большей степени, чем продольная. Таким образом, на величину уширения влияют следующие факторы: высота и ширина полосы, температура и прочностные характеристики прокатываемого материала, величина обжатия, число проходов, угол захвата, диаметр валков, скорость прокатки, условия смазки и т.п.

Уширение является нежелательным фактором при прокатке, т.к. вызывает появление растягивающих напряжений в боковых кромках полосы и образование трещин.

В связи с этим при прокатке следует стремиться к исключению действия факторов, вызывающих интенсивную деформацию в поперечном направлении. Для этого необходимо оценить влияние на уширение различных технологических факторов. При промышленной прокатке из всех перечисленных выше факторов, влияющих на уширение, большинство жестко задано маркой сплава, конструкцией стана, технологическими ограничениями. Единственным параметром, которым можно реально управлять, является обжатие и число проходов.

Порядок выполнения работы:

Зависимость обжатия на уширение:

1. Перед прокаткой в местах измерения ширины следует нанести риски.
2. У образца №1 измерить толщину, ширину и длину. Результаты занести в таблицу.
3. Прокатать образец №1 в валках, смазанных мелом с обжатием 30-40%.
4. Измерить толщину, ширину и длину образца после прокатки и занести в таблицу.
5. У образца №2 измерить толщину, ширину и длину и занести в таблицу.
6. Прокатать образец №2 в валках, смазанных машинным маслом с обжатием 30-40%.
7. Измерить толщину, ширину и длину после прокатки и занести в таблицу.

Таблица 6 - Данные по изучению влияния обжатия на уширение

№ образца	Условия прокатки	h_0	b_0	L_0	H_1	B_1	L_1	Δb
		Размеры образца, мм						
1	Мел							
2	масло							

Зависимость уширения от ширины полосы:

1. Исследования проводятся на трех образцах разной ширины: 20 и 40 мм.
2. Прокатку с обжатием 30-40 % осуществлять на сухих валках.
3. Результаты измерений занести в таблицу

Таблица 7 – Данные по изучению влияния ширины полосы на уширение

Характеристика	Образец № 1 (20мм)	Образец № 2 (30мм)	Образец № 3 (40мм)
h_0 мм			
H_1 мм			
Δh мм			
H_2 мм			

Ход работы: Изучить инструкцию к данной лабораторной работе. Измерить толщину и ширину образцов и прокатать их с различным обжатием за проход. Измерить образцы после прокатки и найти уширение. Определить показатель уширения. Рассчитать теоретическое значение уширения по формулам А.Чекмарева и Б. Бахтинова. Окончательные результаты опытов и расчетов занести в таблицу, приведенную в инструкции.

Форма представления результата: Отчет о проделанной работе должен содержать название и цель работы, описание хода работы; таблицу измерений и расчетов; расчеты искомых величин; выводы.

Критерии оценки:

Процент результативности (правильных ответов)	Качественная оценка индивидуальных образовательных достижений	
	балл (отметка)	вербальный аналог
90 ÷ 100	5	отлично
80 ÷ 89	4	хорошо
70 ÷ 79	3	удовлетворительно
менее 70	2	не удовлетворительно

Тема 1.10 Уширение при обработке металлов давлением

Практическая работа № 9,10,11

Методы расчета уширения при прокатке по методу А.И. Целикова

Методы расчета уширения при прокатке по методу Б.П. Бахтинова

Методы расчета уширения при прокатке по методу А.П. Чекмарева

Цель работы: освоить методы определения уширения по А.И. Целикову, Б.П. Бахтинову и А.П. Чекмареву.

Выполнив работу, Вы будете:

уметь:

- применять типовые методики определения параметров обработки металлов давлением;
- выбирать справочные данные, характеризующие взаимосвязи структуры и свойств обрабатываемых металлов и сплавов, для обеспечения выпуска продукции с заданными свойствами;

Материальное обеспечение: методические указания по выполнению практических работ.

Оборудование: не применяется.

Задание: ознакомиться с методикой определения уширения при прокатке по различным методикам.

Краткие теоретические сведения

Уширение – поперечная деформация металла. При прокатке полоса обжимается по высоте и увеличивается по ширине и длине. Как уширение, так и вытяжка образуются за счет объема металла, смещаемого по толщине полосы (обжатия). При увеличении обжатия должны увеличиваться и уширение, и вытяжка.

При небольших значениях длины контактной поверхности и развитой ширине b металл будет деформироваться в основном в длину, так как перемещение частиц металла в этом направлении будет встречать меньшее сопротивление. При малой

ширине контактной поверхности b и большом значении длины металл в основном будет деформироваться в поперечном направлении.

С соотношением длины и ширины контактной поверхности связано действие основных факторов, влияющих на уширение при прокатке, к числу которых относятся величина обжатия, диаметр валков, ширина прокатываемой полосы, число проходов, коэффициент трения.

Под влиянием жестких внешних концов и взаимной связи частиц металла по всему поперечному сечению полосы устанавливается некоторая средняя вытяжка металла. Принудительное выравнивание вытяжки различных частей полосы может сопровождаться местным изменением ее поперечных размеров в виде утяжки или вынужденного уширения металла. При этом возможно разрушение металла или накопление в нем внутренних остаточных напряжений. Все эти явления должны тщательно учитываться при прокатке сложных профилей.

Соотношение между вытяжкой и уширением при прокатке полосы с некоторым постоянным обжатием зависит от соотношения между соответствующими главными напряжениями, действующими на металл в очаге деформации. Основной схемой напряженного состояния металла в прокатываемой полосе является схема трехосного сжатия.

При изучении действия какого-либо параметра процесса прокатки на изменение поперечной деформации пренебрегают влиянием других параметров, т.е. принимают их неизменяющимися или отсутствующими.

- 1) Обжатие – всегда увеличивает уширение металла, т.к. при увеличении обжатия возрастает длина очага деформации, препятствующая вытяжке, и металл вынужден частично перемещаться в поперечном направлении;
- 2) Толщина полосы – при уменьшении толщины полосы, за счет увеличения обжатия, уширение металла увеличивается;
- 3) Диаметр валков – при прокатке металла в валках большого диаметра, уширение увеличивается;
- 4) Коэффициент контактного трения – увеличение контактного трения, сдерживая вытяжку, способствует развитию уширения;
- 5) Ширина полосы – по мере увеличения ширины полосы поперечная деформация уменьшается до определенного предела ($\approx 600\text{мм}$), после чего увеличение ширины практически не сказывается на изменении величины уширения. При прокатке широких листов уширение практически отсутствует, это объясняется увеличением соотношения ширины очага деформации к его длине, соответственно, ростом поперечных напряжений, превышающих продольные;
- 6) Количество пропусков – дробность общей деформации, выражающаяся в увеличении общего количества пропусков при прокатке металла, всегда приводит к уменьшению уширения в отдельном пропуске (по причине уменьшения длин очагов деформации в каждом отдельном пропуске);
- 7) Натяжение концов полосы – переднее и заднее натяжение уменьшают уширение металла, т.к. снижают величину усилия прокатки (что равносильно уменьшению обжатия в каждом пропуске);
- 8) Факторы, увеличивающие опережение металла при прокатке, увеличивают уширение.

Уширение металла увеличивается при возрастании диаметра валков, коэффициента трения и снижении температуры металла в процессе горячей прокатки. Уширение пропорционально обжатию; оно зависит от толщины и ширины прокатываемой полосы.

Формула Б. П. Бахтинова :

$$\Delta b = 1,15 \times \frac{\Delta h}{2h_0} \left(\sqrt{R\Delta h} - \frac{\Delta h}{2f} \right)$$

Для практического пользования в первую очередь рекомендуется применять формулу Б. П. Бахтинова, являющуюся наиболее простой и в то же время достаточно точно.

Формула А.И.Целикова для расчета уширения:

$$\Delta b = 0,5 \left(\sqrt{R_k * \Delta h} - \frac{\Delta h}{2f} \right) \ln \frac{h_0}{h_1}, \text{ мм}$$

Формула А.П. Чекмарева

$$\Delta b = (0,35 \div 0,45) \frac{\Delta h}{h_0} \sqrt{R_k * \Delta h}, \text{ мм}$$

Порядок выполнения работы:

- 1.Подготовить рабочее место;
- 2.Прочитать инструкцию к лабораторной работе;
- 3.Выполнить лабораторную работу;
4. Оформить отчет о работе;
5. Защитить лабораторную работу.

Ход работы:

Изучить инструкцию к данной лабораторной работе.

Измерить толщину и ширину образцов и прокатать их с различным обжатием за проход. Измерить образцы после прокатки и найти уширение. Определить показатель уширения. Рассчитать теоретическое значение уширения по формулам А.Чекмарева и Б. Бахтинова. Окончательные результаты опытов и расчетов занести в таблицу, приведенную в инструкции.

Форма представления результата: Отчет о проделанной работе должен содержать название и цель работы, описание хода работы; выводы.

Критерии оценки:

Процент результативности (правильных ответов)	Качественная оценка индивидуальных образовательных достижений	
	балл (отметка)	вербальный аналог
90 ÷ 100	5	отлично
80 ÷ 89	4	хорошо
70 ÷ 79	3	удовлетворительно
менее 70	2	не удовлетворительно

Тема 1.11 Энергосиловые параметры при обработке металлов давлением

Практическая работа № 12,13

Составление полного момента на валу двигателя.

Построение диаграммы механической нагрузки на валу двигателя стана

Цель работы: научиться составлять полный момент двигателя прокатного стана и строить диаграмму механической нагрузки.

Выполнив работу, Вы будете:

уметь:

- применять типовые методики определения параметров обработки металлов давлением;
- выбирать справочные данные, характеризующие взаимосвязи структуры и свойств обрабатываемых металлов и сплавов, для обеспечения выпуска продукции с заданными свойствами;

Материальное обеспечение: Методическое пособие по выполнению практической работы.

Оборудование: не требуется

Задание: составить полный момент двигателя прокатного стана и построить диаграмму механической нагрузки.

Краткие теоретические сведения:

При прокатке валки прокатного стана должны преодолевать сопротивление деформации металла. Это происходит под воздействием двигателя привода прокатного стана. При передачи мощности от двигателя к валкам часть энергии расходуется на преодоление сил трения в механизмах, передающих вращения, к которым относятся шпинделя, муфты, шестеренные клетки. При определении мощности двигателя прокатного стана требуется определить полный крутящий момент двигателя непосредственно на вале двигателя с учетом потерь на трение. Потери на трение механизмов, передающих вращение от двигателя к рабочим валкам, учитывается через соответствующие коэффициенты полезного действия механизмов, входящих в главную линию прокатного стана.

Главная линия прокатного стана может состоять из следующих элементов:

1. Рабочие валки.
2. Шпиндели.
3. Шестеренная клеть

4. Соединительная муфта.
5. Редуктор.
6. Предохранительная муфта.
7. Главный электродвигатель.
8. Подшипники рабочей клетки.

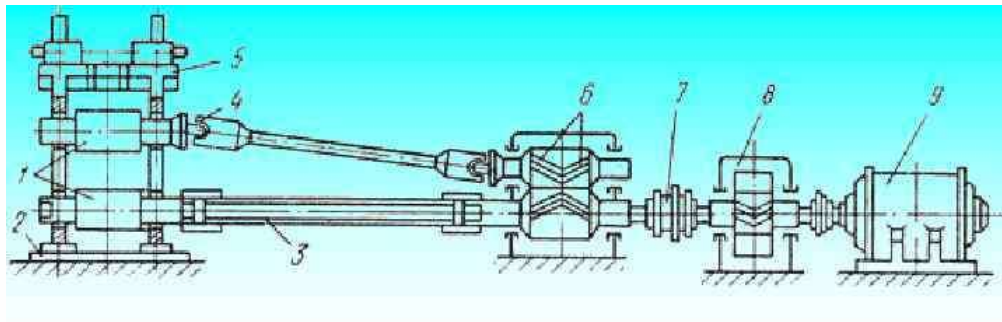


Схема главной линии прокатного стана:

- 1 – прокатные валки; 2 – плита; 3 – трефовый шпиндель; 4 – универсальный шпиндель; 5 – рабочая клеть; 6 – шестеренная клеть; 7 – муфта; 8 – редуктор; 9 – двигатель

Рисунок 10 – Схема главной линии стана

Полный крутящий момент двигателя, необходимый для привода прокатного стана, складывается из суммы моментов:

$$M_{\text{дв}} = M_{\text{пр}} + M_{\text{тр}} + M_{\text{х.х}} \pm M_{\text{н}} \pm M_{\text{дин}}$$

где, $M_{\text{пр}}$ – момент прокатки, необходимый для осуществления пластической деформации валках;

$M_{\text{тр}}$ – момент трения, возникающий в подшипниках прокатных валков от действий давления металла на валки при прокатке;

$M_{\text{х.х}}$ – момент холостого хода, требующийся для привода прокатного стана при холостом ходе;

$M_{\text{н}}$ – момент натяжения, необходимый для создания натяжения полосы при прокатке. Если натяжение переднее, момент натяжения берется со знаком «-», если натяжение заднее, то момент натяжения берется со знаком «+».

$M_{\text{дин}}$ – момент динамический, требующийся для преодоления инерционных сил, возникающих в момент разгона или торможения.

Число оборотов двигателя при реверсивной прокатки момент динамический со знаком «+» при разгоне стана и со знаком «-» при торможении стана. Динамический момент определяется только для реверсивных станов (блюмингов, слябингов и толстолистовых станов).

Момент натяжения определяется для станов многоклетевых непрерывных, а также для одно-, двух - клетевых станов холодной прокатки, оборудованными моталками, передними и задними.

Сумма 4 первых моментов прокатки холостого хода и натяжения определяется для любых типов стана и называется статическим моментом двигателя.

$$M_{\text{ст}} = M_{\text{пр}} + M_{\text{тр}} + M_{\text{хх}} \pm M_{\text{н}}$$

Статический момент двигателя указывают в паспортных данных двигателя. Он необходим для расчетов величины коэффициента полезного действия прокатного стана.

$$\eta_{\text{ст}} = \frac{M_{\text{пр}}}{M_{\text{ст}}} = 0,7 \div 0,85$$

Полный крутящий момент двигателя и его составляющие моменты рассчитываются в зависимости от величины полного давления металла на валки и габаритов деталей главной линии прокатного стана. Крутящий момент двигателя измеряется в (т·м, кН·м).

Для двигателей постоянного тока, позволяющих плавно регулировать скорость вращения в широких пределах, номинальный момент $M_{\text{н}}$ (кНм) зависит от скорости вращения. При регулировании скорости (оборотов) от 0 до $n_{\text{х}}$ номинальный момент $M_{\text{н}}$ не зависит от скорости, так как регулирование ее осуществляется за счет изменения тока якоря двигателя. Это значение $M_{\text{н}}$ записывается в паспорт двигателя. При дальнейшем повышении скорости до возможного значения n_2 уменьшается ток возбуждения статора двигателя, и это вызывает снижение номинального момента.

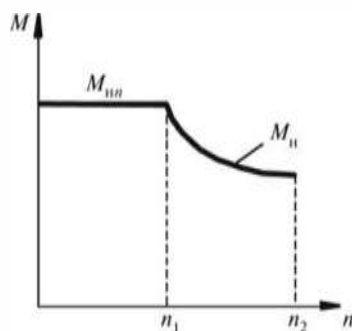


Рисунок 11 – Зависимость номинального момента двигателя от скорости

Для приводов станов устанавливают двигатели номинальной мощности. Номинальная мощность двигателя определяется по формуле:

$$N_{\text{дв.н}} = \frac{M_{\text{дв.мах.}} \times n}{9,74 \times K}, \text{ кВт}$$

Если в процессе работы стана нагрузка на двигатель образуется одновременно за счёт двух, трёх и более пропусков, то определение максимального момента на валу двигателя решается с помощью нагрузочной диаграммы.

Для построения нагрузочной диаграммы необходимо знать статический момент в каждом пропуске, продолжительность пропуска и время пауз между проходами. Диаграмма строится на миллиметровке и обязательно в масштабе, при этом по оси ординат откладывается статический момент, а по оси абсцисс – время в секундах. На рисунке приведена нагрузочная диаграмма для стана, работающего без перекрытия. Статическая нагрузка изображена в виде прямоугольников, соответствующих первому, второму и т.д. проходам; паузам соответствует нагрузка, равная моменту холостого хода.

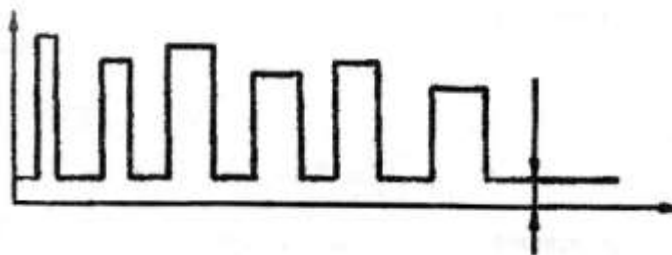


Рисунок 12 - Диаграмма статических нагрузок для стана, работающего без перекрытия.

Для построения диаграммы для стана работающего с перекрытием сначала вычерчивают график прокатки, а под графиком – нагрузочную диаграмму.

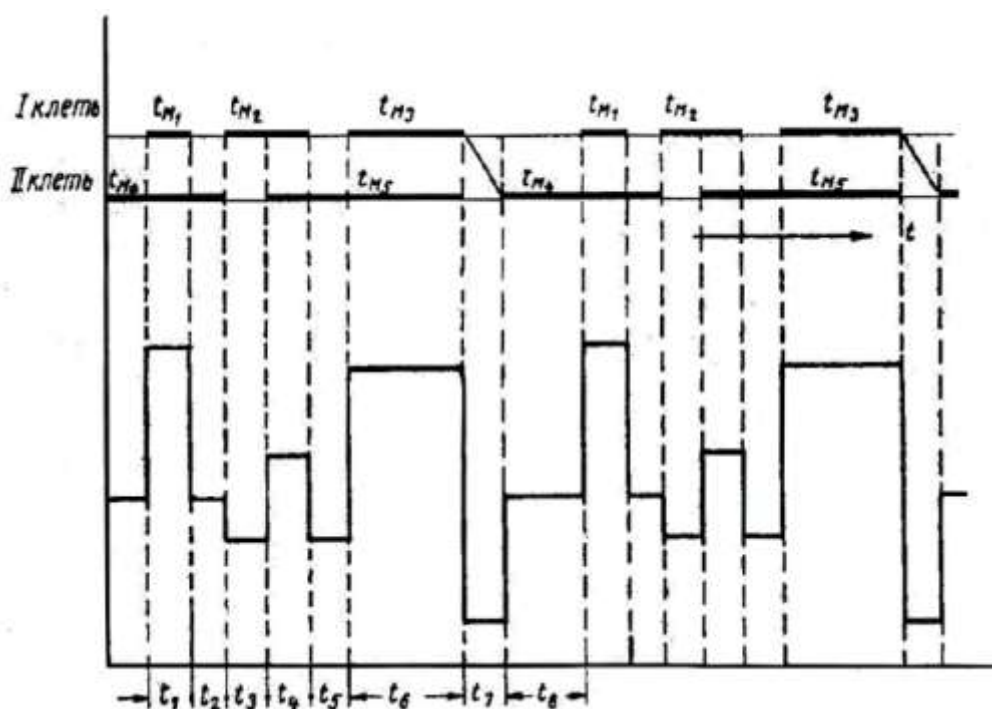


Рисунок 12- График прокатки и диаграмма нагрузки на валу двигателя прокатного стана, работающего с перекрытием

Порядок выполнения работы:

1. Изучите методические рекомендации к практической работе.
2. Получите индивидуальные данные у преподавателя.
3. Установите двигатель номинальной мощности.
4. Выполните расчеты.
5. Постройте нагрузочную диаграмму.

Ход работы:

Постройте нагрузочную диаграмму и определите потребную мощность привода черновых клетей крупносортового стана «650» по следующим данным:

Черновая линия стана состоит из двух клеток трио, привод которых осуществляется от одного электродвигателя. Металл прокатывается в черновых клетях за шесть пропусков (по три пропуска в каждой клетке).

Статические моменты на валу двигателя по пропускам составили:

$$M_{дв1} = 450 \text{ кН} \times \text{м} (45,0 \text{ тс} \times \text{м}); \quad M_{дв4} = 420 \text{ кН} \times \text{м} (42,0 \text{ тс} \times \text{м});$$

$$M_{дв2} = 330 \text{ кН} \times \text{м} (33,0 \text{ тс} \times \text{м}); \quad M_{дв5} = 468 \text{ кН} \times \text{м} (46,8 \text{ тс} \times \text{м});$$

$$M_{дв3} = 328 \text{ кН} \times \text{м} (32,8 \text{ тс} \times \text{м}); \quad M_{дв6} = 300 \text{ кН} \times \text{м} (30,0 \text{ тс} \times \text{м}).$$

Продолжительность прокатки полосы по пропускам:

$$t_1 = 8,5 \text{ с}; t_2 = 10,4 \text{ с}; t_3 = 12,5 \text{ с}; t_4 = 15,6 \text{ с}; t_5 = 18,2 \text{ с}; t_6 = 20,5 \text{ с}$$

Продолжительность пауз между пропусками:

$$t_{n1} = 4,0 \text{ с}; t_{n2} = 4,0 \text{ с}; t_{n3} = 20,0 \text{ с}; t_{n4} = 5,0 \text{ с}; t_{n5} = 6,0 \text{ с};$$

Каждый последующий раскат задаётся в первую клеть трио через 9,0 секунд после выхода из этой клетки предыдущей полосы. Диаметр валков $D = 620 \text{ мм}$. Коэффициент, учитывающий допустимую перегрузку двигателя, $K = 2$. Скорость прокатки 2, 92 м/с.

Для упрощения расчётов принять, что следующий раскат задаётся в первую клеть чистовой линии после прокатки на стане предыдущей штуки. При построении нагрузочной диаграммы учесть, что на чистовой линии стана ведётся петлевая прокатка.

Форма представления результата: отчет о проделанной работе должен содержать название и цель работы, описание хода работы; расчеты, диаграмму, выводы.

Критерии оценки:

Процент результативности (правильных ответов)	Качественная оценка индивидуальных образовательных достижений	
	балл (отметка)	вербальный аналог
90 ÷ 100	5	отлично
80 ÷ 89	4	хорошо
70 ÷ 79	3	удовлетворительно
менее 70	2	не удовлетворительно

Тема 1.11 Энергосиловые параметры при обработке металлов давлением

Лабораторная работа № 10

Исследование силовых условий при прокатке в валках с гладкой бочкой на стане ДУО-130

Цель работы: Изучение методики определения силовых параметров процесса прокатки; исследование мощности и расхода энергии при прокатке.

Выполнив работу, Вы будете:

уметь:

- применять типовые методики определения параметров обработки металлов давлением;
- выбирать справочные данные, характеризующие взаимосвязи структуры и свойств обрабатываемых металлов и сплавов, для обеспечения выпуска продукции с заданными свойствами;

Материальное обеспечение:

- методическое пособие по выполнению практической работы;
- три свинцовых образца;
- штангенциркуль.

Оборудование: автоматизированный лабораторный прокатный стан

Задание: рассчитать силовые условия прокатки на валках с гладкой бочкой.

Краткие теоретические сведения:

Расход энергии при прокатке является существенной величиной, учитываемой при проектировании новых станов, определяющей собой мощность станového двигателя и мощность, передаваемую всеми передаточными устройствами. Кроме того, при эксплуатации уже имеющихся станов намечаемый режим работы (обжатия) проверяют в отношении нагрузки двигателя и отдельных частей привода. Мощность, потребляемая главным двигателем стана при прокатке, может быть записана следующим образом:

$$N_{\text{расчет}} = N_{\text{деф.}} + N_{\text{подш.}} + N_{\text{шест.}} + N_{\text{редукт.}} + N_{\text{дв.}},$$

где, $N_{\text{деф.}}$ – мощность, затрачиваемая на деформацию металла, включая и трение прокатываемого металла о валки; это полезная часть мощности (считая трение неизбежным, хотя и подлежащим наибольшему возможному уменьшению);

$N_{\text{подш.}}$ – мощность, расходуемая на преодоление трения в подшипниках прокатных валков;

$N_{\text{шест.}}$ – мощность, затрачиваемая в шестеренной клети на преодоление трения в подшипниках и в зубьях шестерен;

$N_{\text{редукт.}}$ – мощность, расходуемая на преодоление трения в подшипниках и зубьях редуктора;

$N_{\text{дв.}}$ – мощность, теряемая в двигателе.

Мощность, затрачиваемую на деформацию металла $N_{\text{деф.}}$ с учетом мощности, расходуемой на трение в зеве валков, подсчитывают по формуле И.М. Павлова.

При разработке технологического процесса и проектировании прокатного оборудования весьма важным этапом является определение межвалкового давления (усилия прокатки). С ним связаны геометрические параметры процесса, конструкция и размеры элементов прокатной клети, их упругая деформация и точность прокатываемых изделий, скорость изнашивания валков и срок их службы, мощность привода и расход энергии.

Со стороны прокатываемого металла на валки действуют нормальные и касательные силы. Направление равнодействующей этих сил зависит от способа и условий прокатки. При наипростейшем процессе прокатки, где на прокатываемый металл действуют только силы от валков, движение металла при входе и выходе равномерное, оба валка приводные, имеют одинаковые скорости и диаметры, металл обладает одинаковыми механическими свойствами. В этом случае определение усилия прокатки сводится к определению площади контакта F прокатываемого металла с валками и установлению среднего удельного давления металла на валки:

$$P = P_{\text{ср}} F$$

Среднее удельное давление определяется двумя группами факторов. К первой относятся те, которые влияют на механические свойства обрабатываемого металла (химический состав, температура и степень деформации). Вторую группу составляют факторы, определяющие характер напряженного состояния обрабатываемого металла (контактные силы трения, натяжение или подпор, геометрические размеры очага деформации и др.)

Порядок выполнения работы:

1. Измерить в трех местах толщину образцов Н0 (толщину следует измерять по середине ширины образца) и ширину В0 (в таблицу занести среднее значение).

2. Подготовленные образцы прокатать в один проход с обжатием $H \varepsilon : 10 \%, 25 \%$ и 50% .
3. Измерить в трех местах у прокатанных образцов их толщину H_1 и ширину B_1 .
4. Опытные данные занести в таблицу.
5. Рассчитать теоретическую величину усилия прокатки P_t по формулам (9)...(12).
6. При расчете взять коэффициент трения f металла о валки и угол захвата α (в радианах) из данных лабораторной работы №2 (вариант прокатки при смазанных машинным маслом валках).
7. Рассчитать мощность деформирования $N_{\text{деф.}}$, потери на трение в подшипниках $N_{\text{подш.}}$, а также мощность прокатки $N_{\text{расчет.}}$ по формулам (2)...(4).
8. Определить КПД прокатного стана η по формуле (5)
9. Результаты расчетов занести в таблицу.

Ход работы:

1. Построить графики зависимостей $H/P = f \varepsilon$ на одном координатном поле.
2. Построить графики зависимостей на одном координатном поле.
3. Сделать вывод о влиянии степени обжатия на энергетические параметры процесса прокатки (усилие, мощность, КПД) и о возможности их теоретического определения по формулам (9)...(12).

Форма представления результата:

Отчета о проделанной работе должен содержать название и цель работы, описание хода работы; таблицу измерений и расчетов; графики зависимостей, выводы.

Критерии оценки:

Процент результативности (правильных ответов)	Качественная оценка индивидуальных образовательных достижений	
	балл (отметка)	вербальный аналог
$90 \div 100$	5	отлично
$80 \div 89$	4	хорошо
$70 \div 79$	3	удовлетворительно
менее 70	2	не удовлетворительно

Тема 1.11 Энергосиловые параметры при обработке металлов давлением

Практическая работа № 14

Расчет контактного давления при горячей прокатке по методу А.Ф. Головина и В.А. Тягунова

Цель работы: освоить расчет контактного давления при горячей прокатке по различным методам.

Выполнив работу, Вы будете:

уметь:

- применять типовые методики определения параметров обработки металлов давлением;
- выбирать справочные данные, характеризующие взаимосвязи структуры и свойств обрабатываемых металлов и сплавов, для обеспечения выпуска продукции с заданными свойствами;

Материальное обеспечение: Методическое пособие по выполнению практической работы. Справочники.

Оборудование: не применяется

Задание: Определить усилие при горячей прокатке по различным методикам.

Порядок выполнения работы:

1. Ознакомиться с методическими указаниями к практической работе.
2. Получить индивидуальные данные у преподавателя.
3. Выполнить расчеты.
4. Сделать выводы

Ход работы:

Определить усилие при горячей прокатке, если известны следующие исходные данные:

валки с гладкой бочкой, чугунные $D=1000\text{мм}$;

число оборотов валков $n_b=80\text{ об/мин}$;

прокатываемый металл – сталь 08сп

температура металла при прокатке 1100°C ;

размеры прокатываемой полосы прямоугольного сечения до прохода

$h_0=5,0\text{ мм}$, $b_0=1050\text{ мм}$,

после прохода $h_1=4,5\text{мм}$, $b_1=1000\text{ мм}$.

Из марочника сталей находим след. данные 08сп С0,05-0,12%, Мп 0,35-0,65%, Сг 0,10%.

Абсолютное обжатие определяется по формуле:

$$\Delta h = h_0 - h_1$$

где, h_0 и h_1 - толщина до и после прокатки, мм

$$\Delta h = 5 - 4,5 = 0,5\text{ мм}$$

Длина контактной поверхности определяется по формуле:

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

где, R – радиус валка, мм

L – длина контактной поверхности, мм

Δh – абсолютное обжатие, мм

$$L = \sqrt{500 * 0,5} = 16\text{ мм}$$

Среднее значение высоты и ширины определяется по формуле:

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

где, h_0 – начальная толщина полосы, мм

h_1 – конечная толщина полосы, мм

$$h_c = 0,5(4,5 + 5) = 4,5\text{ мм}$$

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

$$b_c = 0,5(1050 + 1000) = 1025\text{ мм}$$

Площадь контактной поверхности определяется по формуле:

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

где, b_0 и b_1 – толщина до и после прокатки, мм

R – радиус валка, мм

Δh – абсолютное обжатие, мм

$$F = 1025 \cdot 16 = 16400 \text{ мм}^2$$

Скорость прокатки определяется по формуле:

$$V_{np} = \pi \cdot D_{II} \cdot n_b / 60$$

Где, диаметр валка (D) надо перевести из миллиметров в метры, т.е
 $D = 1000 \text{ мм} = 1,0 \text{ м}$

$$V_{np} = 3,14 \cdot 1 \cdot (150 / 60) = 7,8 \text{ м/с}$$

Усилие прокатки определяется по методу Целикова А.И.

Скорость деформации определяется по формуле (11):

$$U = \frac{V \Delta h}{L \cdot 10^{-3} h_0}$$

где, V – скорость прокатки, м/с

L – длина очага деформации, мм

Δh – абсолютное обжатие, мм

h_0 – начальная толщина листа, мм

$$U = \frac{7,8 \cdot 9,6}{0,022 \cdot 4}$$

$$U = 70 \text{ с}^{-1}$$

Для температуры металла 1200°C и скорости деформации 70 с^{-1} сопротивление деформации по экспериментальным кривым $\sigma_\delta = 15 \text{ кг с/мм}^2$

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 – коэффициент, учитывающий влияние валков (для стальных $\kappa_1 = 1,0$)

κ_2 – коэффициент, учитывающий влияние окружной скорости валков и определяется по графику,

κ_3 – коэффициент, учитывающий влияние химического состава стали и определяется по таблице,

$$\mu_y = 0,8 \cdot 0,55 \cdot 1,0 (1,05 - 0,0005 \cdot 1200)$$

$$\mu_y = 0,231$$

Коэффициент, учитывающий влияние ширины полосы определяется по формуле (13):

$$n_b = n_b' \cdot n_b''$$

где коэффициент n_b' определяется в зависимости от соотношения b_0/l , если $b_0/l < 1$, то $n_b' = 1,0$, если $b_0/l > 5$ принимают $n_b' = 1,15$, если $b_0/l = 1,0 - 5,0$, то n_b' определяется по гр. 3. В нашем случае $b_0/l > 5,0$ значит $n_b' = 1,15$.

Коэффициент n_b'' определяется по формуле:

$$n_a'' = \frac{1 + \frac{(3b_c - l)\mu_\delta * l}{6b_c h_c}}{1 + \frac{0.5\mu_\delta l}{h_c}}$$

$$n_b'' = 0,96$$

Тогда:

$$n_b = 1,15 * 0,96 = 1,1$$

$$\delta = \frac{2\mu_\delta * l}{\Delta h}$$

$$\delta = \frac{2 * 0,2 * 16}{0,5}$$

$$\delta = 13,0$$

Для значений $\delta = 13,0$ $E = 0,1$ по графику находим $n'_\sigma = 2,4$, так как коэффициент n''_σ определяется из отношения $\frac{l}{h_c}$, т.е. при $\frac{l}{h_c} = 0,05 - 1,0$ $n''_\sigma = (\frac{l}{h_c})^{-0.4}$, при $\frac{l}{h_c} > 0$, $n''_\sigma = 1,0$. В данном случае $n''_\sigma = 1,0$

Натяжение при прокатке по условию отсутствует, поэтому $n'''_\sigma = 1$
Следовательно, коэффициент рассчитывается по формуле:

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

где n'_σ - коэффициент, учитывающий влияние внешнего трения

n''_σ - коэффициент, учитывающий влияние внешних зон

n'''_σ - коэффициент, учитывающий влияние натяжения

$$n_\sigma = 2,4 * 1 * 1 = 2,4$$

Контактное давление рассчитывается по формуле:

$$P_{cp} = \sigma_\phi * n_\delta * n_\sigma$$

где, σ_ϕ - сопротивление деформации, кгс/мм²

n_δ - коэффициент, учитывающий влияние ширины полосы,

n_σ - коэффициент, учитывающий влияние натяжения

$$P_{cp} = 15 * 2,4 * 1,15 = 41,4 \text{ кгс/мм}^2$$

Усилие прокатки определяется по формуле:

$$P = P_{cp} * F$$

где, P_{cp} - контактное давление, кгс/мм²,

F - площадь контактной поверхности, мм²

$$P = 41,4 * 16400 = 678960 \text{ кгс} = 678 \text{ тс}$$

Расчет усилия прокатки находим по методу А.Ф.Головина, В.А.Тягунова

Для стали 5х температура плавления 1300 и предел прочности $\sigma_B = 70 \text{ кгс/мм}^2$ найдены по графику (Куприн М.И., Куприна М.С. “ Основы теории прокатки”)

$$k_t = (0,95 \cdot t_{nl} - t) / 1500 \quad (26)$$

$$k_t = (0,95 \cdot 1300 - 575) / 1500$$

$$1100 > (1300 - 575)$$

$$k_t = (0,95 \cdot t_{nl} - t) / 1500 = (0,95 \cdot 1300 - 1100) / 1500 = 0,09$$

сопротивление деформации

$$\phi = 0,09 \cdot 70 = 6,3 \text{ кгс/мм}^2$$

Коэффициент учитывающий величину внешнего трения

$$n' = 1 + 0,33 \cdot k_t = 1,41$$

Контактное давление рассчитывается как:

$$P_{cp} = 6,3 \cdot 1,41 = 8,883 \text{ кгс/мм}^2$$

Усилие прокатки

$$P = P_{cp} \cdot F$$

$$P = 8,883 \cdot 36600 = 325117 = 325 \text{ тс}$$

Форма представления результата: Отчет о проделанной работе должен содержать название и цель работы, описание хода работы; расчеты искомых величин, выводы.

Критерии оценки:

Процент результативности (правильных ответов)	Качественная оценка индивидуальных образовательных достижений	
	балл (отметка)	вербальный аналог
90 ÷ 100	5	отлично
80 ÷ 89	4	хорошо
70 ÷ 79	3	удовлетворительно
менее 70	2	не удовлетворительно

Тема 1.11 Энергосиловые параметры при обработке металлов давлением

Практическая работа № 15

Расчет контактного давления при холодной прокатке

Цель работы: с помощью теоретических расчетов по формулам А.И. Целикова, М. Стоуна определить усилие при холодной прокатке.

Выполнив работу, Вы будете:

уметь:

- применять типовые методики определения параметров обработки металлов давлением;
- выбирать справочные данные, характеризующие взаимосвязи структуры и свойств обрабатываемых металлов и сплавов, для обеспечения выпуска продукции с заданными свойствами;

Материальное обеспечение: Методические разработки по выполнению расчетов усилия при холодной прокатке.

Оборудование: не применяется

Задание:

1. Ознакомиться с практической работой.
2. Получить исходные данные.
3. Определить усилие при холодной прокатке по вариантам.
4. Оформить расчет в рабочей тетради и сдать на проверку.

Порядок выполнения работы:

1. Ознакомиться с методическими указаниями к практической работе.
2. Получить индивидуальные данные у преподавателя.
3. Выполнить расчеты.
4. Сделать выводы

Ход работы:

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

Расчет выполнен для третьего прохода при прокатке полосы из стали 0,8ю с исходным сечением $4,9 \times 1050 \text{ мм}^2$, до конечного сечения $1,8 \times 1050 \text{ мм}$ на пятиклетевом стане с диаметром рабочих валков 500 мм. Смазкой при прокатке служит эмульсия пальмового эмульсола.

Коэффициент контактного трения определяется по графику: $\mu_y = 0,044$

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

$$\sum E h_2 = \frac{h_0 - h_2}{h_0} * 100\% ;$$

где h_0 – толщина начальная, мм

$$\sum E h_2 = \frac{5.5 - 4.1}{5.5} * 100\% = 25\%$$

$$\sum E h_3 = \frac{h_0 - h_3}{h_0} * 100\% ;$$

$$\sum E h_2 = \frac{5.5 - 3.4}{5.5} * 100\% = 38.2\%$$

Значения пределов текучести для сжатия с учетом влияния степени деформации находятся по графику из справочника А.В. Третьяков, В.И. Зюзин: «Механические свойства металлов и сплавов при обработке давлением.» -М.: Металлургия, 1973.

В данном случае для стали:

$$\sigma_{T2} = 57.5 \text{ кгс/мм}^2$$

$$\sigma_{T3} = 62.5 \text{ кгс/мм}^2$$

Соппротивление деформации в условиях линейного сжатия с учетом степени наклепа определяется по формуле:

$$\sigma_\phi = 0,5(\sigma_{T2} + \sigma_{T3})$$

где σ_{T2}, σ_{T3} – пределы текучести во втором и третьем проходах, кгс/мм²

$$\sigma_\phi = 0,5(57.5 + 62.5) = 60 \text{ кгс/мм}^2$$

Абсолютное обжатие:

$$\Delta h_3 = h_2 - h_3$$

$$\Delta h_3 = 3.4 - 2.9 = 0,5 \text{ мм}$$

Длина очага деформации без учета упругого сплющивания валков определяется по формуле:

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

где ℓ – длина очага деформации, мм

Δh – абсолютное обжатие, мм

R – радиус вала, мм

$$\ell = \sqrt{250 \cdot 0.5} = 11.2 \text{ мм.}$$

Коэффициент n'_b , учитывающий влияние напряженного состояния определяется из отношения b/ℓ . При $b/\ell = 1,0$, $n'_b = 1,0$. При $b/\ell > 5$, $n'_b = 1,15$. При $b/\ell = 1,0-5,0$, n'_b находится по графику. В данном случае $b/\ell = 1500/11.2 = 134$ значит $b/\ell > 5$, следовательно, $n'_b = 1,15$.

Коэффициент n''_b , учитывающий влияние внешнего трения, в связи с отсутствием уширения будет равняться 1,0.

Коэффициент, учитывающий влияние внешних зон n''_σ определяется из отношения ℓ/h_{cp} , т.е. при $\ell/h_{cp} = 0,05-1,0$, $n''_\sigma = (\ell/h_{cp})^{-0,4}$. При $\ell/h_{cp} > 1,0$, $n''_\sigma = 1,0$. 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. $\ell/h_{cp} = 6.46/0.68 = 9.8$ мм, что больше единицы.

Коэффициент n'_σ , учитывающий влияние внешнего трения определяем по методу А.И. Целикова.

Относительная деформация:

$$Eh_3 = \frac{\Delta h_3}{h_2};$$

$$Eh = 0.5/3.4 = 0.15\%$$

$$\sigma = \frac{2 \cdot 0,044 \cdot 11.2}{0,5} = 1.97$$

По графику находим $n'_\sigma = 1,05$

Контактное давление без учета натяжения определяется по формуле:

$$P'_{cp} = \sigma_\phi * n'_b * n'_\sigma * n''_\sigma;$$

где P'_{cp} - контактное давление, кгс/мм²

σ_ϕ - сопротивление деформации, кгс/мм²

$n'_b, n'_\sigma, n''_\sigma$ - коэффициенты натяжения.

$$P'_{cp} = 60 \cdot 1,15 \cdot 1,20 \cdot 1 = 73.14 \text{ кгс/мм}^2.$$

Коэффициент, учитывающий влияние натяжения определяется по формуле:

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

где, P_{cp} - среднее контактное давление, кгс/мм²

σ_2 и σ_3 величины натяжения между клетями, кгс/мм²

$$n'''_\sigma = 1 - \frac{0,5(13.5 + 12.3)}{73.14} = 0,824$$

Контактное давление с учетом натяжения:

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

$$P_{cp} = 73.14 * 0.824 = 60.3 \text{ кгс/мм}^2.$$

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.

Задаемся $\ell' = 16.8$ мм.

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

$$\delta = \frac{2 \cdot 0.044 \cdot 16.8}{0.5} = 2.96$$

По графику находим $n'_\sigma = 1.1$.

$$P'_{cp} = \sigma_\phi \cdot n'_b \cdot n'_\sigma \cdot n''_\sigma$$

$$P'_{cp} = 60 \cdot 1.15 \cdot 1.13 \cdot 1 = 75.9 \text{ кгс/мм}^2.$$

Коэффициент, учитывающий влияние натяжения:

$$n'''_\sigma = 1 - \frac{0.5(\sigma_2 + \sigma_3)}{P'_{cp}};$$

$$n'''_\sigma = 1 - \frac{0.5(13.5 + 12.3)}{75.9} = 0.83$$

Контактное давление с учетом натяжения:

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

$$P_{cp} = 75.9 \cdot 0.83 = 63 \text{ кгс/мм}^2$$

Задаемся $\ell'' = 25.2 \text{ мм}$.

$$\delta = \frac{2\mu_y \ell}{\Delta h_3}$$

$$\delta = \frac{2 \cdot 0.044 \cdot 25.2}{0.5} = 4.43$$

По графику находим $n'_\sigma = 1.22$

Контактное давление без учета натяжения:

$$P'_{cp} = \sigma_\phi \cdot n'_b \cdot n'_\sigma \cdot n''_\sigma$$

$$P'_{cp} = 60 \cdot 1.15 \cdot 1.22 \cdot 1 = 84.18 \text{ кгс/мм}^2.$$

Коэффициент, учитывающий влияние натяжения:

$$n'''_\sigma = 1 - \frac{0.5(\sigma_2 + \sigma_3)}{P'_{cp}}$$

$$n'''_\sigma = 1 - \frac{0.5(13.5 + 12.3)}{84.18} = 0.847$$

Контактное давление с учетом натяжения:

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

$$P_{cp} = 84.18 \cdot 0.847 = 71.3 \text{ кгс/мм}^2.$$

Для полученных значений P_{cp} находим длину контактной поверхности с учетом сплющивания валков по формуле:

$$x_0 = \frac{R \cdot P_{cp}}{9500};$$

где R - радиус валка, мм

P_{cp} - среднее контактное давление, кгс/мм²

$$x_0 = \frac{250 \cdot 60.3}{9500} = 1.59 \text{ мм}$$

$$x_0 = \frac{250 \cdot 63}{9500} = 1.66 \text{ мм}$$

$$x_0 = \frac{250 \cdot 71.3}{9500} = 1.88 \text{ мм}$$

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

$$l_c = 1.65 + \sqrt{250 * 0.5 + 1.59^2} = 19.37 \text{ мм}$$

$$l_c = 1.74 + \sqrt{250 * 0.5 + 1.66^2} = 20.2 \text{ мм}$$

$$l_c = 2.08 + \sqrt{250 * 0.5 + 1.88^2} = 22.88 \text{ мм}$$

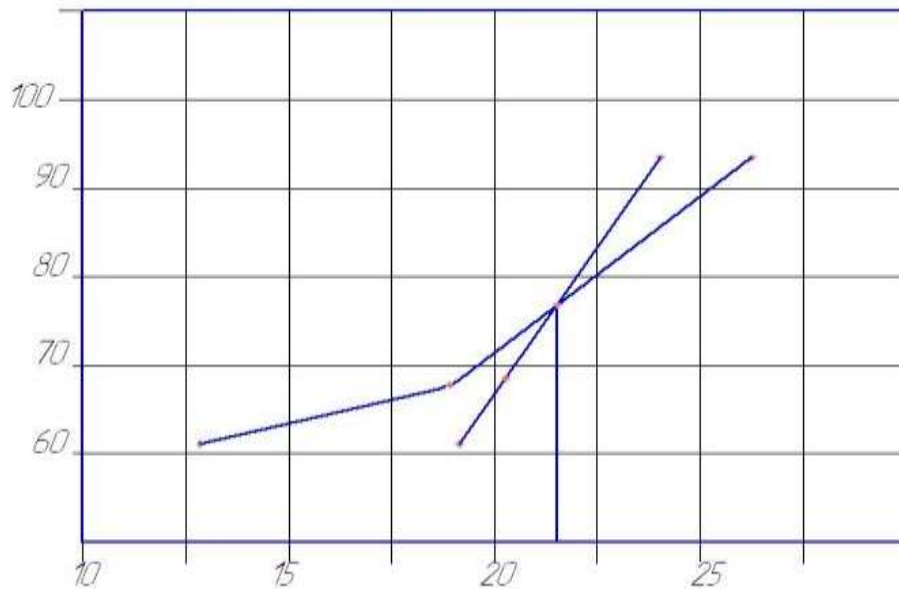


Рисунок 13 - График зависимости контактного давления от длины контактной поверхности с учетом упругого сплющивания валков.

Координаты точки пересечения кривых 1 и 2: $p_{cp} = 63 \text{ кгс/мм}^2$; $\ell = 21 \text{ мм}$.

Усилие прокатки определяется по формуле:

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

где F- площадь поперечного сечения, мм^2

$$P = 63 * 1100 * 21 = 1455,400 \text{ кгс} = 1455 \text{ тс}$$

Таблица – исходные данные для расчета усилия при холодной прокатке

	b	h₀	h₁	h₂	h₃	h₄	D_k	σ_{1;2}	σ_{2;3}	σ_{3;4}	V₁	V₂	V₃	V₄	P- ?	сталь
1	1200	2,0	1,8	1,2	0,7	0,5	490	22	24	26	4,1	7,8	10	12	P ₂	08кп
2	1100	2,5	1,8	1,2	0,8	0,4	550	22	24	26	4,1	7,8	10	12	P ₃	Ст20
3	1000	2,4	1,7	1,1	0,8	0,5	500	22	24	26	4,1	7,8	10	12	P ₂	08кп
4	1200	2,1	1,6	1,1	0,7	0,5	500	22	24	26	4,1	7,8	10	12	P ₄	Ст45
5	1000	5,0	4,8	4,2	3,5	2,0	550	23	25	27	4,2	7,9	12	14	P ₃	Ст0
6	1000	3,0	2,7	2,0	1,5	1,0	550	23	25	27	4,3	8,0	12	14	P ₃	Ст2
7	1200	2,8	2,1	1,8	1,1	0,8	500	22	24	27	4,3	8,0	12	14	P ₂	Ст10
8	1100	2,9	2,2	1,7	1,3	0,9	550	21	23	26	4,0	7,7	9	11	P ₃	Ст10
9	1200	3,1	2,7	2,1	1,6	0,6	500	21	23	26	4,0	7,7	9	11	P ₄	Ст85
10	1200	2,3	1,6	1,0	0,5	0,3	490	22	24	26	4,1	7,8	10	12	P ₂	Ст20
11	1100	3,5	2,8	2,2	1,8	0,9	550	22	24	26	4,1	7,8	10	12	P ₃	Ст0
12	1000	4,0	3,8	3,2	2,5	2,0	550	23	25	27	4,2	7,9	12	14	P ₃	08кп
13	1200	2,7	1,7	1,3	0,7	0,6	500	22	24	26	4,1	7,8	10	12	P ₄	Ст85

14	1200	2,1	1,8	1,2	0,5	0,3	550	22	24	26	4,1	7,8	10	12	P ₂	Ст20А
15	1100	2,2	2,0	1,7	1,4	1,2	550	21	23	26	4,0	7,7	9	11	P ₃	Ст45
16	1100	2,9	2,1	1,8	1,2	0,7	480	22	24	26	4,1	7,8	10	12	P ₂	Ст2
17	1000	4,1	3,7	3,1	2,4	2,0	550	23	25	27	4,2	7,9	12	14	P ₃	Ст10
18	1200	4,5	4,0	3,5	3,0	2,5	500	22	24	26	4,1	7,8	10	12	P ₂	Ст0
19	1000	3,0	2,8	2,6	2,1	1,5	500	23	25	27	4,2	7,9	12	14	P ₄	Ст2
20	1200	2,7	2,2	1,8	1,5	1,0	550	21	23	26	4,0	7,7	9	11	P ₃	Ст20А
21	1200	3,2	2,5	1,9	1,4	0,9	500	22	24	26	4,1	7,8	10	12	P ₂	Ст20
22	1000	2,0	1,4	0,9	0,6	0,5	500	22	24	26	4,1	7,8	10	12	P ₂	08кп
23	1100	2,3	1,7	1,2	0,8	0,5	550	23	25	27	4,2	7,9	12	14	P ₄	Ст85
24	1100	2,7	2,0	1,6	1,2	0,8	550	23	25	27	4,2	7,9	12	14	P ₄	Ст45
25	1200	2,5	2,0	1,5	1,2	0,5	480	22	24	26	4,1	7,8	10	12	P ₃	Ст10
26	1000	2,2	1,7	1,2	0,7	0,4	500	21	23	26	4,0	7,7	9	11	P ₂	Ст2
27	1200	2,5	1,8	1,2	0,9	0,7	550	23	25	27	4,2	7,9	12	14	P ₄	Ст0
28	1200	2,6	1,6	1,3	0,8	0,6	490	22	24	26	4,1	7,8	10	12	P ₃	Ст85
29	1000	5,0	4,2	3,3	2,0	1,4	550	23	25	27	4,2	7,9	12	14	P ₄	08кп
30	1100	4,3	3,1	2,4	1,4	0,8	500	22	24	26	4,1	7,8	10	12	P ₃	Ст20
31	1200	3,1	2,3	1,6	1,1	0,5	550	22	24	26	4,1	7,8	10	12	P ₄	Ст10
32	1000	2,4	1,6	1,0	0,8	0,5	500	21	23	25	4,0	7,7	9	11	P ₂	Ст2
33	1100	4,4	3,3	2,2	1,1	0,6	500	23	25	27	4,2	7,9	12	14	P ₄	Ст45
34	1200	3,6	3,1	2,4	1,9	1,2	550	22	24	26	4,1	7,8	10	12	P ₃	Ст20
35	1400	5,1	4,6	3,5	2,2	1,5	550	24	26	28	4,3	8,0	13	15	P ₃	08пс

Форма представления результата: Отчет о проделанной работе должен содержать название и цель работы, описание хода работы; расчеты искомых величин, выводы.

Критерии оценки:

Процент результативности (правильных ответов)	Качественная оценка индивидуальных образовательных достижений	
	балл (отметка)	вербальный аналог
90 ÷ 100	5	отлично
80 ÷ 89	4	хорошо
70 ÷ 79	3	удовлетворительно
менее 70	2	не удовлетворительно

Тема 1.11 Энергосиловые параметры при обработке металлов давлением

Практическая работа № 16

Проверочный расчет мощности двигателя прокатного стана.

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

Выполнив работу, Вы будете:

уметь:

- применять типовые методики определения параметров обработки металлов давлением;
- выбирать справочные данные, характеризующие взаимосвязи структуры и свойств обрабатываемых металлов и сплавов, для обеспечения выпуска продукции с заданными свойствами;

Материальное обеспечение: методическая разработка по выполнению расчета мощности двигателя прокатного стана.

Оборудование: не применяется

Задание:

Варианты заданий для расчета мощности прокатки

Вариант, №	Мощность, кВт
1	1100
2	1100
3	1100
4	1200
5	1300
6	1200
7	1300
8	1500
9	1200
10	1300
11	1250
12	1300
13	1200
14	1100
15	1100
16	1200
17	1300
18	1400
19	1200
20	1250
21	1350
22	1200
23	1100
24	1100
25	1200
26	1200
27	1300
28	1200
29	1300
30	1100
31	1200

Порядок выполнения работы:

- 1.Ознакомиться с методическими указаниями к практической работе.
- 2.Рассчитать мощность двигателя прокатного стана.
- 3.Оформить расчет в рабочей тетради.
- 4.Сдать на проверку преподавателю.

Ход работы:

Определить мощность прокатки по вращающему моменту для стана с постоянной скоростью. Прокатываемый металл – сталь ст3. Привод клетки осуществляется от индивидуального электродвигателя мощностью 2000 кВт через понижающий редуктор и шестеренную клеть.

Шейки валков опираются на текстолитовые подшипники. Диаметр бочки валков 500 мм, число оборотов валков $n=180$ об/мин. Усилие прокатки 661,3 тс.

Длина очага деформации:

$$L = \sqrt{R * \Delta h}$$

$$L = \sqrt{250 \cdot 0,6} = 12,25 \text{ мм} = 0,01225 \text{ м}$$

Момент прокатки, т.к. в клети полоса имеет прямоугольное сечение принимаем коэффициент плеча $\Psi = 0,45$ и определяем по формуле:

$$M_{\text{пр}} = 2 \cdot P \cdot \Psi \cdot \sqrt{R \cdot \Delta h}$$

где, P – усилие прокатки, $\text{Н} \cdot \text{м}$

$$M_{\text{пр}} = 2 \cdot 661,3 \cdot 0,45 \cdot 0,01225 = 7,3 \text{ тс} \cdot \text{м}.$$

Момент трения в подшипнике валков определяем:

$$M_{\text{тр}} = P \cdot d \cdot \mu_n$$

где, P – усилие прокатки, $\text{Н} \cdot \text{м}$,

d – диаметр шейки валка, м ,

μ – коэффициент трения

$$M_{\text{тр}} = 661,3 \cdot 0,003 \cdot 0,7 = 1,4 \text{ тс} \cdot \text{м}.$$

Момент, необходимый для осуществления деформации в данной клети:

$$M_{\text{деф}} = M_{\text{пр}} + M_{\text{тр}}$$

$$M_{\text{деф}} = 7,3 + 1,4 = 8,7 \text{ тс} \cdot \text{м}$$

Мощность необходимая для осуществления деформации в данной клети:

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

где, $M_{\text{деф}}$ – момент деформации, $\text{Н} \cdot \text{м}$

n – число оборотов, об/ми

$$N_{\text{деф}} = 8,7 \cdot 180 / 0,975 = 1606 \text{ кВт}$$

Примем расход мощности на холостой ход 8% от номинальной:

$$N_{\text{х.х.}} = 0,08 \cdot N_{\text{дв}}$$

$$N_{\text{х.х.}} = 0,08 \cdot 2000 = 160 \text{ кВт}$$

Определим расчетную мощность с учетом потерь на трение в передачах и холостой ход: примем КПД шпинделей и муфты $\eta_2 = 0,97$, КПД шестерней клети $\eta_3 = 0,93$; КПД редуктора $\eta_4 = 0,94$.

Общий КПД стана определяется как:

$$\eta = \eta_2 \cdot \eta_3 \cdot \eta_4 = 0,97 \cdot 0,93 \cdot 0,94 = 0,84$$

Тогда расчетная мощность будет

$$N_{\text{расч}} = N_{\text{деф}} / \eta + N_{\text{х.х.}}$$

где, $N_{\text{деф}}$ – момент деформации, $\text{Н} \cdot \text{м}$

η – КПД стана,

$$N_{\text{расч}} = 1606 / 0,84 + 160 = 2065 \text{ кВт}$$

Форма представления результата: Отчет о проделанной работе должен содержать название и цель работы, описание хода работы; расчеты искомых величин, выводы.

Критерии оценки:

Процент результативности (правильных ответов)	Качественная оценка индивидуальных образовательных достижений	
	балл (отметка)	вербальный аналог
90 ÷ 100	5	отлично
80 ÷ 89	4	хорошо
70 ÷ 79	3	удовлетворительно
менее 70	2	не удовлетворительно

Тема 1.12 неравномерность деформации

Практическая работа № 17

Изучение неравномерности деформации при прокатке

Цель работы: Изучение методики определения неравномерности деформации при прокатке.

Выполнив работу, Вы будете:

уметь:

- применять типовые методики определения параметров обработки металлов давлением;
- выбирать справочные данные, характеризующие взаимосвязи структуры и свойств обрабатываемых металлов и сплавов, для обеспечения выпуска продукции с заданными свойствами;

Материальное обеспечение: методическое пособие по выполнению практической работы;

Оборудование: не применяется

Задание: изучить методику определения неравномерностей при прокатке.

Краткие теоретические сведения:

При условии равномерной деформации при прокатке толщина исходной полосы h_0 по всей ширине и длине одинакова, зазор между валками h_1 по всей длине бочки валков и сопротивление деформации прокатываемого металла по всему его объему также одинаковы. Наблюдающиеся почти всегда отклонения от этих условий приводят к неравномерной деформации. Различают неравномерность деформации по ширине, толщине и длине полосы.

Неравномерность деформации по ширине полосы - этот вид неравномерной деформации проявляется в неравномерном распределении обжатия по ширине полосы и вызывается следующими действующими совместно или порознь причинами:

а) неодинаковым зазором между валками (перекос валков, неравномерный разогрев бочки валка, выработка валка, прогиб калибры на валках имеют разную высоту по ширине);

б) неодинаковой исходной толщиной полосы по ширине.

Степень неравномерности деформации по ширине можно охарактеризовать диаграммами естественных вытяжек. За естественную принимается вытяжка, которую получила бы та или иная часть полосы, если бы она деформировалась отдельно, вне связи с другими частями. Естественные вытяжки сравниваются со средней вытяжкой, которая определяется как отношение сечений до прохода и после него: $\lambda_{cp} = F_0/F_1$.

Чем больше разница между естественной и средней вытяжкой, тем больше неравномерность деформации.

Примером может послужить диаграмма вытяжек при прокатке полосы переменного сечения по ширине в гладких валках

Поперечное сечение полосы можно разбить на три части шириной каждая по 100мм, имеющие высоту: края – по 80мм, середина 60 мм. При обжатии такой полосы до 40 мм каждая часть стремится получить свою вытяжку (для упрощения расчета уширение не учитывается): края – $\lambda_1 = \lambda_3 = 2,0$; середина – $\lambda_2 = 1,5$. Фактически вся полоса получает некоторую среднюю вытяжку:

$$\lambda_{cp} = F_0/F_1 = (80 \cdot 100 + 60 \cdot 100 + 80 \cdot 100)/(40 \cdot 300) = 1,83$$

В соответствии с этим и длина полосы после прокатки будет некоторой средней длиной $L_c = 1,83L_0$. Диаграмма вытяжек для данного случая представлена на рисунке.

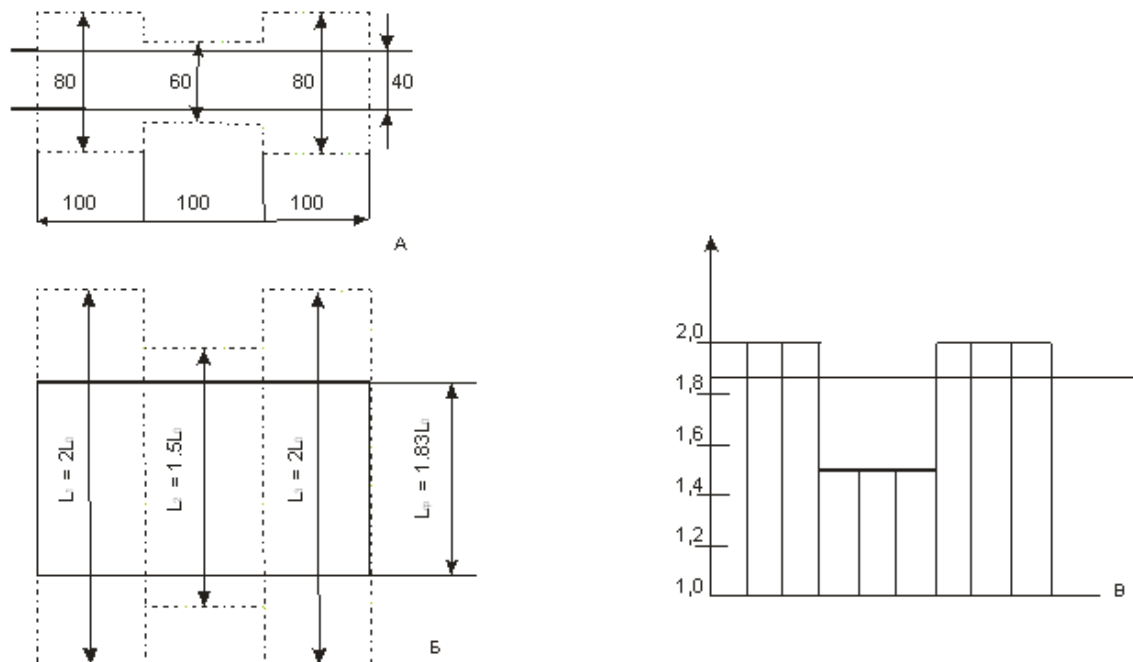


Рисунок 14- Диаграмма вытяжек

Выравнивание вытяжек неизбежно приводит к различию уширения неравномерно обжимаемых участков полосы, что вытекает из закона постоянства объема. Удлинение частей полосы, получающих большее обжатие, меньше ожидаемого (естественного) (на рис. 13 – края), поэтому уширение их больше величины естественного (свободного) уширения.

Такое уширение называют вынужденным. Удлинение частей полосы, получивших меньшее обжатие, больше естественного удлинения. Вследствие этого ширина их уменьшается. Сужение полосы (отрицательное уширение) называют утяжкой.

При прокатке широких полос малой толщины, когда уширение практически отсутствует, выравнивания вытяжек не происходит. Каждая часть полосы получает естественную вытяжку и, если обжатия неравномерны, длина неравномерно обжимаемых участков будет неодинаковой. Но это возможно лишь при прокатке коротких полос. В большинстве случаев избыток длины сильно обжимаемых участков полосы образует волны, но если прочность и жесткость этих участков достаточно велики, то на слабо обжатых участках полосы образуются надрывы.

Выравнивание длин при неравномерной деформации по ширине приводит к появлению дополнительных напряжений. Те части, которые обжимались в большей степени, получают вытяжку меньше естественной, так как их сдерживают слабо обжимаемые участки.

В результате в зонах повышенного обжатия возникают напряжения сжатия. Наоборот, части полосы, обжатые в меньшей степени, будут растягиваться под действием частей, получивших большее обжатие. Напряжения разных знаков взаимно уравниваются по отдельным зонам полосы и, следовательно, они являются напряжениями первого рода.

Напряжения сжатия могут привести к волнистости или коробоватости прокатываемой полосы. Напряжения растяжения при превышении предела прочности металла могут привести к появлению трещин, рванин. Например, при прокатке полосы с утолщенными краями (рис. 13) по краям возникают напряжения сжатия. При достаточной их ширине края могут получиться волнистыми. Средняя часть полосы получает напряжения растяжения. Если напряжения растяжения превысят предел прочности металла, посередине могут образоваться рванины.

Несимметричная неравномерность деформации большей частью приводит к искривлению прокатываемой полосы. Примером несимметричной неравномерности деформации по ширине может послужить прокатка полосы прямоугольного сечения в перекошенных валках.

В данном случае обжатия от одной кромки к другой постепенно возрастают, соответственно увеличиваются и вытяжки. Разность вытяжек, образующаяся в очаге деформации, воздействует как на передний, так и на задний конец прокатываемой полосы. При этом передний конец получает плавное искривление в горизонтальной плоскости (серповидность), загибаясь в сторону меньше вытяжки. Задний конец поворачивается в сторону меньшего обжатия, приводя к смещению полосы вдоль бочки вала (полосу ведет) и даже выбрасыванию её за пределы рабочей части валков.

Аналогичные явления наблюдаются в случае прокатки полосы клиновидного поперечного сечения при параллельном расположении валков. Неравномерность деформации по ширине может привести к образованию такого дефекта, как порез. Он получается при прокатке тонких листов в сильно вогнутых валках. В этом случае края полосы на входе в валки «ведет» к середине, где лист собирается в складку, в результате чего в валки попадает тройная толщина листа. В этом месте лист сам себя режет, мнется и идет в брак.

Неравномерность деформации по толщине:

Этот вид неравномерной деформации проявляется как неодинаковое обжатие отдельных горизонтальных слоев полосы. Одной из причин её может быть различие сопротивления деформации отдельных слоев.

Рассмотрим обжатие двухслойной полосы невращающимися валками одинакового диаметра (рис. 9). Верхний слой – свинцовый, имеющий малое сопротивление деформации, нижний – алюминиевый, имеет более высокое сопротивление деформации. Верхний валок вдавливаются в свинец на большую глубину, чем нижний валок – в алюминий. Усилия, действующие на оба валка, равны между собой, согласно условию равновесия сил. Площади соприкосновения металлов с валками различные: у верхнего валка контактная площадь больше, чем у нижнего.

Усилие, действующее на верхний валок $P_1 = p_1 \cdot F_1$;

усилие, действующее на нижний валок $P_2 = p_2 \cdot F_2$.

Согласно условию равновесия сил, имеем $p_1 \cdot F_1 = p_2 \cdot F_2$,

но $p_1 < p_2$; $F_1 > F_2$.

Обжатия верхнего и нижнего слоев в рассматриваемом случае также неодинаковы. Свинцовый слой обжимается в большей мере, чем алюминиевый, то есть $(H_1 - L_1) > (H_2 - L_2)$, следовательно, и вытяжка свинцового слоя будет больше, чем алюминиевого. Если эти слои не связаны между собой, то каждый из них получает при деформации свою естественную вытяжку. Если же слои связаны между собой (как, например, у биметалла), то при прокатке полоса будет изгибаться в сторону меньшей вытяжки, в данном примере – вниз (рис. 14).

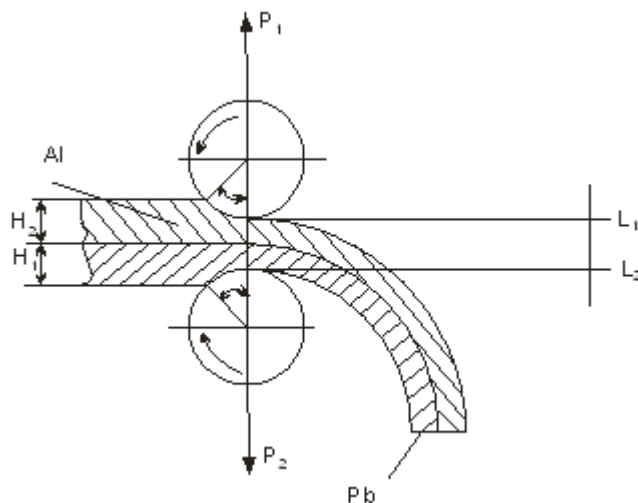


Рисунок 15- Неравномерность деформации по толщине полосы

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 неравномерно прогретой полосы. Вследствие различия сопротивления деформации отдельных слоев углы захвата у верхнего и нижнего валков различны. Величины обжатия верхнего и нижнего слоев можно выразить через углы захвата:

$$\text{обжатие верхнего слоя } H_1 - L_1 = R \cdot (1 - \cos \alpha_1);$$

$$\text{обжатие нижнего слоя } H_2 - L_2 = R \cdot (1 - \cos \alpha_2).$$

Определим отношение обжатий верхнего и нижнего слоев:

$$(H_1 - L_1)/(H_2 - L_2) = (1 - \cos \alpha_1)/(1 - \cos \alpha_2).$$

Для малых значений углов получим:

$$(H_1 - L_1)/(H_2 - L_2) \approx (\alpha_1/\alpha_2)^2.$$

Для прокатки без уширения по условию равенства усилий, действующих на верхний и нижний валки: $(p_2/p_1) \approx (\alpha_1/\alpha_2)$. Если сопоставить два последних уравнения получим:

$$(H_1 - L_1)/(H_2 - L_2) = (p_2/p_1)^2.$$

Это уравнение выражает закон распределения обжатий при неравномерной деформации по толщине: частные обжатия слоев металла, имеющих различные сопротивления деформации, обратно пропорциональны квадратам сопротивлений деформации этих слоев.

Неравномерная деформация по толщине полосы приводит к появлению в металле дополнительных напряжений. В слоях полосы, получивших большие обжатия, возникают дополнительные напряжения сжатия, а в слоях, получивших меньшие обжатия – напряжения растяжения. Дополнительные напряжения могут привести к дефектам. Наиболее частым дефектом при горячей прокатке, например, биметаллической проволоки, имеющей стальной сердечник и медную оболочку, является разрыв стального сердечника. Стальной сердечник, имея большее сопротивление деформации, меньше деформируется по сравнению с медной оболочкой. В результате в нем возникают дополнительные напряжения растяжения. Если эти напряжения превысят предел прочности сердечника, в нем возникают трещины

Неравномерность деформации по длине прокатываемой полосы:

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 соотношение между продольной и поперечной деформациями.

Взаимодействие переднего и заднего концов с деформируемой частью полосы накладывает свой отпечаток на напряженное 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 форма поперечного сечения, свойства металла и характер остаточных напряжений по все длине прокатанной полосы получаются одинаковыми. Исключение составляют лишь небольшие участки длины по концам полосы, прокатанные в условиях неустоившегося процесса. В связи с этим обычно считают, что 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.

Другой вид неравномерности деформации по длине полосы наблюдается при изменении расстояния между валками за время одного прохода из-за колебаний упругих деформаций валков и других деталей рабочей клетки, вследствие изменения усилия прокатки или из-за «биения» валков при отсутствии строгой соосности шеек и бочек. Сечение полосы, получаемой в результате такой прокатки, будет неодинаково по её длине, причем изменяться может не только толщина, но и ширина полосы, а иногда и свойства прокатываемого металла.

В большинстве случаев неравномерность деформации такого вида нежелательна, так как она снижает точность размеров прокатываемой полосы. Особенно сказывается её вредное влияние при прокатке тонких полос, когда упругие деформации деталей рабочей клетки становятся соизмеримыми с толщиной прокатываемой полосы.

Для повышения точности прокатки стараются избегать «биения» валков, применяют рабочие клетки повышенной жесткости или специальные клетки предварительно напряженной конструкции. Иногда неравномерность обжатия по длине полосы создают специально, например, при выравнивании неравномерности толщины исходной полосы, при получении периодических профилей или, как их ещё называют, профилей переменного сечения (например, круглого профиля с переменным по длине диаметром).

Порядок выполнения работы:

1. Ознакомиться с методическими указаниями к практической работе.
2. Получить индивидуальное задание у преподавателя.
3. Выполнить работу
4. Сделать выводы

Форма представления результата: Отчет о проделанной работе должен содержать название и цель работы, описание хода работы, выводы.

Критерии оценки:

Процент результативности (правильных ответов)	Качественная оценка индивидуальных образовательных достижений	
	балл (отметка)	вербальный аналог
90 ÷ 100	5	отлично
80 ÷ 89	4	хорошо
70 ÷ 79	3	удовлетворительно
менее 70	2	не удовлетворительно