

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
**«Национальный исследовательский технологический университет
«МИСиС»
НОВОТРОИЦКИЙ ФИЛИАЛ**

Кафедра металлургических технологий

Н.Г. Куницина

ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ

ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ

для студентов направления подготовки 150400 «Металлургия»,
всех форм обучения

Новотроицк, 2014

УДК 669. 771

Рецензенты:

*Заведующий кафедрой теплотехнических и энергетических систем ФГБОУ ВПО
МГТУ им. Г.И. Носова, д.т.н. Агапитов Е.Б.*

*Заведующий кафедрой металлургических технологий Новотроицкого филиала
ФГАОУ ВПО НИТУ МИСиС, к.т.н. Братковский Е.В.*

Куница Н.Г. Обработка металлов давлением: Лабораторный практикум для студентов направления подготовки 150400 «Металлургия» всех форм обучения. - Новотроицк: НФ НИТУ «МИСиС», 2014 – 39 с.

Лабораторный практикум по дисциплине «Обработка металлов давлением» предназначен для закрепления знаний по основам обработки металлов давлением. Рассмотрены методика проведения лабораторных работ, теоретические основы изучаемых вопросов, приведены требования к оформлению отчетов и вопросы для самопроверки.

Лабораторный практикум соответствует государственному образовательному стандарту высшего профессионального образования по направлению подготовки бакалавров 150400 «Металлургия».

Рекомендовано Методическим советом НФ НИТУ «МИСиС»

© Новотроицкий филиал
ФГАОУ ВПО «Национальный
исследовательский
технологический университет
«МИСиС», 2014.

Содержание

Предисловие.....	4
Основы техники безопасности при выполнении лабораторных работ.....	5
Правила подготовки, выполнения, оформления и порядок сдачи лабораторных работ.....	6
Лабораторная работа 1 Изучение оборудования прокатного стана, основных узлов и механизмов.....	7
Лабораторная работа 2 Влияние неравномерной деформации при продольной прокатке на качество продукции.....	12
Лабораторная работа 3 Условие постоянства объема металла и коэффициенты деформации.....	17
Лабораторная работа 4 Скоростные условия при прокатке.....	22
Лабораторная работа 5 Исследование уширения металла при прокатке.....	29
Лабораторная работа 6 Изучение течения металла при сжатии.....	36

Предисловие

Целью лабораторных работ является закрепление теоретических разделов курса, освоение методики и техники проведения экспериментальных исследований.

Каждая лабораторная работа выполняется по определенному плану, изложенному в описании работы в соответствии с задачей данного исследования. Однако последовательность проведения исследования примерно одинакова:

1. Проработка теоретических основ, содержания и методики проведения данной лабораторной работы.

2. Знакомство с оборудованием, оснасткой, образцами и измерительными приборами, применяемыми при исследовании.

3. Составление плана проведения исследования и распределение обязанностей между студентами подгруппы.

4. Оценка погрешностей мерительного инструмента и приборов (если это необходимо).

5. Проведение измерений и испытаний с регистрацией показаний согласно методике исследования.

6. Обработка результатов исследования.

7. Обсуждение результатов исследования, формулировка выводов, составление отчета по работе в соответствии с требованиями, изложенными в указаниях к данной работе.

Основы техники безопасности при выполнении лабораторных работ

Перед выполнением лабораторных работ обязателен вводный инструктаж, проводимый преподавателем в часы, отведенные для выполнения работы, о чем составляется соответствующий документ за подписью студентов и преподавателя.

Каждый студент должен следить за условиями и приемами выполнения порученной ему работы, ставить в известность преподавателя о замеченной опасности в работе, своевременно принимать меры к ее устранению.

Студентам запрещается трогать оборудование, на котором на данном занятии не выполняется экспериментальное исследование.

При работе на учебном оборудовании студент должен быть предварительно ознакомлен с его основными узлами, их взаимодействием и приемами управления агрегатом.

При работе на прокатном стане преподаватель и студенты обязаны руководствоваться следующими правилами:

а) перед началом работы осмотреть стан: валки, нажимное устройство, проводковую арматуру (столы и линейки), шпиндели и другие передаточные механизмы;

б) во время работы стана не производить регулировку нажимного устройства;

в) запрещается смазывать механизмы стана при его работе, а также производить какой-либо ремонт стана;

г) не обтирать валки во время их вращения со стороны входа в них металла;

д) при прокатке коротких образцов для подачи их к валкам пользоваться деревянным толкателем для исключения попадания рук в валки;

е) если при подаче полосы в валки захват металла не произошел, необходимо либо поднять валки, либо заострить конец полосы; вталкивать с силой, наваливаясь телом на образец – категорически запрещается.

Следует иметь в виду, что при проведении лабораторных работ осторожность и внимательность должны быть на первом месте.

Правила подготовки, выполнения, оформления и порядок сдачи лабораторных работ

Целью составления отчета по выполненной работе является более глубокое понимание содержания работы и результатов исследования, а также получение начальных навыков составления технических отчетов по научно-исследовательским работам.

При подготовке к лабораторной работе студент должен ознакомиться с теоретически введением, четко усвоить цель, задачи и порядок выполнения работы. Необходимым условием допуска к выполнению работы является наличие конспекта лабораторной работы.

После выполнения работы каждый студент представляет письменный индивидуальный отчет. Отчет должен быть аккуратно оформлен, сокращения слов, кроме общепринятых, не допускаются. Для более рационального использования времени желательно, чтобы студенты оформляли отчет и защищали их сразу после выполнения работ. Обработка данных и оформление отчета могут быть перенесены на часы самостоятельной работы. В этом случае отчет по выполненной работе принимается преподавателем перед началом экспериментальной части следующей работы.

Принимая отчет, преподаватель поверяет полученные студентом результаты, правильность ведения записей, обработки и оформления результатов. Студент должен ответить на вопросы теоретического и практического характера, связанные с данной работой. При бригадном выполнении лабораторных работ отчет выполняется и защищается каждым студентом индивидуально.

Студенты, имеющие задолженности по отчетам двух лабораторных работ, к выполнению следующей лабораторной работы не допускаются.

После выполнения студентом всех установленных программой курса работ и своевременной их защиты преподавателю, зачет по лабораторному практикуму выставляется без проведения дополнительного опроса.

Лабораторная работа 1. Изучение оборудования прокатного стана, основных узлов и механизмов

1.1 Цель работы

Изучение основного оборудования прокатного стана, его характеристик, ознакомление с оборудованием прокатной лаборатории кафедры МТ.

1.2 Теоретическое введение

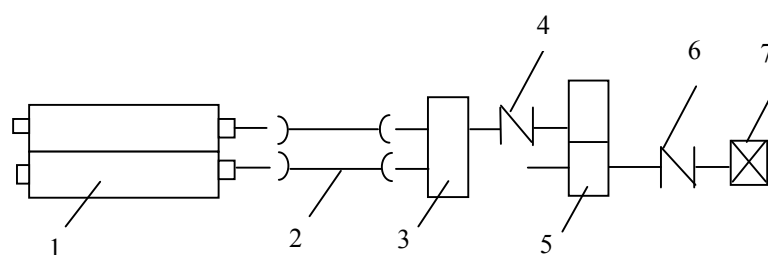
Прокатным станом называется комплекс технологических машин, обеспечивающих производство изделий из черных и цветных металлов прокаткой.

Машины и агрегаты прокатного цеха можно разделить на две группы: машины и механизмы главной линии прокатного стана (рисунок 1.1) и машины и агрегаты поточных технологических линий.

Основным рабочим органом (технологически инструментом) прокатного стана являются валки, вращающиеся в подшипниках, установленных в рабочих клетях. Привод валков осуществляется электродвигателем через промежуточные передаточные механизмы и устройства. Машины и механизмы, предназначенные для вращения валков, а также для восприятия возникающих при пластической деформации металла усилий и крутящих моментов, составляют главную линию прокатного стана.

Машины и механизмы главной линии прокатного стана состоят из рабочей клетки, передаточных механизмов и главного электродвигателя.

Рабочая клеть является основным устройством прокатного стана, т.к. в ней осуществляется собственно прокатка металла. Клеть представляет собой две массивные стальные литые станины, установленные на плитовины. В станинах смонтированы подушки с подшипниками и валками, а также устройства для перемещения верхнего валка по высоте и его осевой фиксации, направляющие проводки для металла и др.



1 – рабочая клеть; 2 – шпиндели; 3 – шестеренная клеть; 4 – главная муфта; 5 – редуктор; 6 – моторная или коренная муфта; 7 – электродвигатель

Рисунок 1.1 – Схема главной линии прокатного стана

Прокатные валки выполняют основную операцию прокатки – деформацию (обжатие) металла и придание ему требуемых размеров и формы поперечного сечения. В процессе деформации металла, вращающиеся валки воспринимают усилие, возникающее при прокатке, и передают его на подшипники и другие детали рабочей клетки стана.

Валки состоят из трех основных элементов (рисунок 1.2): рабочей части – бочки валка (диаметром D и длиной L), которая при прокатке непосредственно соприкасается с деформируемым металлом; опорной части – шеек (диаметром $d_{ш}$ и длиной $l_{ш}$), расположенных с обеих сторон бочки и опирающихся на подшипники валка; приводного конца валка.

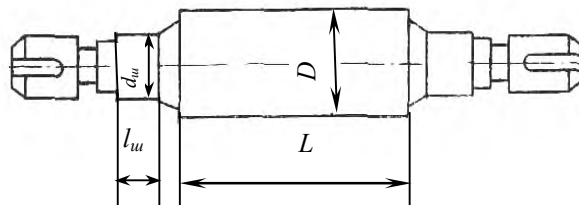


Рисунок 1.2 – Форма и основные элементы листового валка

При вращении валков, осуществляемом с помощью универсальных шпинделей, приводной конец валка делают в виде плоской лопасти (вилки) или цилиндрическим для насадки на него втулки с лопастью. При вращении валка с помощью трефовых шпинделей приводной конец (в этом случае его часто называют трефом) имеет вид крестовины и служит для соединения валка со шпинделем через промежуточную трефовую муфту.

Прокатные валки можно разделить на две основные группы: листовые и сортовые.

Валки листовых станов служат для прокатки листов, полос и ленты. Бочка этих валков имеет цилиндрическую форму и иногда их называют гладкими.

Валки сортовых станов служат для прокатки заготовок и сортового профильного металла. На поверхности бочки этих валков есть углубления, соответствующие профилю прокатываемого металла. Эти углубления называют ручьями (ручьи двух валков с зазором между ними образуют калибры), а валки – ручьевыми (калиброванными) (рисунок 1.3). Валки сортового стана характеризуются рабочим диаметром D_p , диаметром буртов $D_б$ и номинальным диаметром D_n .

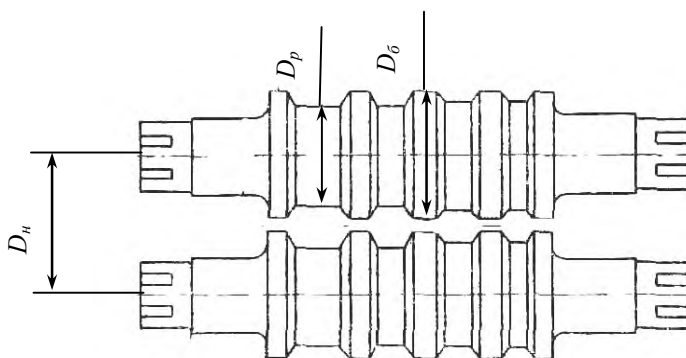


Рисунок 1.3 – Форма сортовых валков

Передаточные механизмы и устройства в зависимости от назначения и конструкции прокатного стана могут быть различными. На крупных станах (обжимных, толстолистовых), а также на станах, прокатывающих металл с большой

скоростью, применяют индивидуальный привод рабочих валков от отдельных электродвигателей: в этом случае передаточным устройством являются универсальные шпиндели, промежуточные валы и муфты.

На других станах предусмотрен общий привод рабочих валков от шестеренной клетки (шестеренные клетки предназначены для разделения крутящего момента и передачи вращения универсальным шпинделям от электродвигателя); в этом случае между электродвигателем и рабочей клетью в одну линию расположены моторная муфта, шестеренная клеть и универсальные шпиндели с устройством для их уравнивания. Если частота вращения электродвигателя не соответствует частоте вращения валков, то в линии привода валков устанавливают редуктор и коренную зубчатую муфту.

Главный электродвигатель прокатного стана является двигателем специального (металлургического) типа с воздушным продуваемым охлаждением. Для станов с постоянной скоростью прокатки (черновых клеток непрерывных станов) применяют синхронные (реже асинхронные) электродвигатели. Для станов с регулируемой скоростью прокатки используют электродвигатели постоянного тока большой мощности (5–7 тыс. кВт), питаемые от специальных машинных или тиристорных преобразователей, в ряде случаев от ртутных выпрямителей.

Машины и агрегаты поточных технологических линий прокатного цеха, не входящие в главные линии станов, предназначены для подачи металла от печи или нагревательных колодцев к приемному рольгангу стана (слитковозы), поворота слитка на рольганге (поворотные устройства), транспортирования металла в соответствии с технологическим процессом (рольганги или транспортеры), передвижения металла вдоль бочки валков для задачи его в соответствующий калибр (манипуляторы), поворота металла относительно его продольной оси (кантователи), охлаждения металла (холодильники), травления металла (травильные установки), разматывания рулонов (разматыватели), сматывания полосы в рулон или проволоки в бунт (моталки), резки металла (ножницы и пилы), для отделки металла (правки и дрессировки, клеймения, укладки, промасливания, упаковки и других процессов).

Эти машины и агрегаты весьма разнообразны; общая масса их значительно превышает массу машин и механизмов, входящих в главные линии стана.

1.3 Порядок проведения работы

По материалам, изложенным в теоретическом введении, изучить состав основного оборудования прокатного стана. После изучения теоретического материала составить паспорт лабораторного прокатного стана. Все данные занести в таблицу 1.1.

1.4 Содержание отчета

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

- 1) цель работы;
- 2) изложение теоретического введения;
- 3) порядок проведения работы;
- 4) паспорт лабораторного прокатного стана;
- 5) выводы по работе.

Таблица 1.1 – Паспорт лабораторного прокатного станка

<i>Общие данные</i>			
Назначение			
Тип			
<i>Передаточные механизмы</i>			
Редуктор	Назначение		
Шестеренная клеть	Назначение		
	Тип		
	Станина		
Шпиндели	Назначение		
	Тип		
Моторная муфта	Назначение		
	Тип		
Коренная муфта	Назначение		
	Тип		
<i>Элементы рабочей клетки</i>			
Валковый узел	Валки	Назначение	
		Материал	
		Состояние	
		Диаметр бочки, мм	
		Длина бочки, мм	
		Диаметр шейки, мм	
		Длина шейки, мм	
	Подшипники	Назначение	
		Тип	
	Подушки	Назначение	
		Материал	
Нажимное устройство	Назначение		
	Тип		
Уравновешивающее устройство	Назначение		
	Тип		
Узел станин	Назначение		
	Тип		
	Материал		

1.5 Контрольные вопросы

1. Что называют прокатным станом?
2. Каково назначение и состав основного и вспомогательного оборудования прокатного стана?
3. Что такое главная линия прокатного стана?
4. Какие основные элементы входят в состав главной линии прокатного стана и каково их назначение?
5. Каковы основные способы привода рабочих валков?

6. Классификация рабочих валков в зависимости от производимой продукции и их основные конструктивные элементы.

1.6 Рекомендуемая литература

1. Зотов В.Ф. Производство проката. – М.: Интермет Инжиниринг, 2000.
2. Королев А.А. Конструкция и расчет машин и механизмов прокатных станов. М.: Metallurgia, 1985.
3. Машины и агрегаты металлургических заводов / А.И. Целиков, П.И. Полухин, В.М. Гребенник и др. – М.: Metallurgia, 1988.

Лабораторная работа 2. Влияние неравномерной деформации при продольной прокатке на качество продукции

2.1 Цель работы

Ознакомление с явлением неравномерной деформации при обработке давлением; изучение причин возникновения неравномерной деформации и дефектов продукции, обусловленных неравномерностью деформации при продольной прокатке.

2.2 Теоретическое введение

При равномерной (однородной) деформации напряженное состояние во всех точках тела одинаково, направления главных осей не изменяются при переходе от одной точки тела к другой, плоскости и прямые линии в теле не изменяются.

При неравномерной (неоднородной) деформации напряженное состояние различно в разных частях тела. Во всех процессах обработки металлов давлением, в том числе и при прокатке, деформация всегда неравномерна (неоднородна), т.е. в различных точках пластически деформируемого тела имеются различные значения интенсивности деформации – как следствие неоднородности напряженного состояния.

При неравномерной деформации отдельные слои и элементы тела стремятся к различному изменению размеров и, вследствие сплошности тела, они оказывают воздействие на соседние слои и элементы.

Как результат такого воздействия в деформированном теле, кроме внутренних сил, уравнивающих приложенные внешние силы, возникают дополнительные взаимно уравнивающиеся внутренние силы и соответствующие им дополнительные напряжения.

Согласно положению С.И. Губкина, в слоях и элементах пластически деформируемого тела, стремящихся к большему изменению размеров, возникают дополнительные сжимающие напряжения, а в слоях и элементах тела, стремящихся к меньшему изменению размеров, возникают дополнительные растягивающие напряжения.

Возникшие в теле дополнительные напряжения могут сохраняться как остаточные напряжения и вызывать снижение пластичности, коробление или сниматься за счет пластической деформации; чаще всего дополнительные напряжения снимаются за счет нарушения целостности тела в отдельных слоях и элементах (возникновение микро – и макротрещин), приводящей к браку полупродукта или готовой продукции.

При оценке величины дополнительных напряжений необходимо учитывать, что в деформируемом теле взаимно уравниваются силы, обусловленные соответствующими дополнительными напряжениями, поэтому величина дополнительных напряжений обратно пропорциональна площади участков, на которой они действуют, чем меньше площадь участка, тем больше величина напряжений, действующих на этом участке.

В процессе деформации дополнительные напряжения алгебраически суммируются с напряжениями, вызванными действием внешних сил. Поэтому действительная схема главных напряжений весьма часто существенно отличается от схемы напряжений, обусловленной приложенными внешними силами.

При выполнении расчетов параметров процессов обработки металлов давлением, в том числе и прокатки, принимают деформацию равномерной по всему объему деформируемого тела или его условно разбивают на отдельные объемы, в пределах которых деформацию можно считать равномерной.

При продольной прокатке неравномерность деформации наблюдается по всему объему деформируемого тела, следовательно, имеет место неравномерность деформации по ширине и высоте прокатываемого металла.

Основные причины неравномерности деформации следующие:

- действие внешнего трения;
- несоответствие формы рабочего инструмента форме деформируемого тела;
- неоднородность физико-механических свойств деформируемого тела по объему.

Внешнее трение затрудняет скольжение деформируемого тела по инструменту; действие его распространяется не одинаково по объему тела, оно наиболее сильно вблизи контакта с инструментом и уменьшается по мере удаления от контакта, что приводит к неравномерности деформации по толщине полосы.

Неравномерность деформации в результате трения приводит к появлению дополнительных напряжений и может привести к изменению схемы напряженного состояния в отдельных частях тела.

В большинстве процессов обработки металлов давлением форма исходной заготовки не соответствует форме и размерам зазора между валками. Обычно форма заготовки проще формы изделия, определяемой формой инструмента, что приводит к неодинаковому обжатию отдельных частей заготовки, следовательно, к неравномерной деформации.

На рисунке 2.1, согласно И.М. Павлову, показаны типовые схемы прокатки, при которых возникает равномерная (а) и неравномерная деформация (б).

На рисунке 2.1,а представлена схема прокатки на цилиндрических валках полосы из прямоугольной заготовки; абсолютные и относительные обжатия одинаковы по ширине полосы, деформация равномерная. На рисунке 2.1,б показаны три схемы прокатки, при которых наблюдается неравномерная деформация. При прокатке заготовки квадратного сечения в калибре овальной формы: деформация по ширине неравномерна из-за переменной высоты калибра при постоянной высоте заготовки; абсолютные и относительные обжатия минимальны на оси симметрии и увеличиваются к краям калибра. При прокатке круглой полосы на гладкой бочке неравномерность деформации обусловлена формой заготовки; обжатие максимально по оси симметрии и уменьшается к краям заготовки. При прокатке овальной заготовки в квадратном калибре: неравномерность деформации обусловлена совместным действием формы калибра и заготовки.

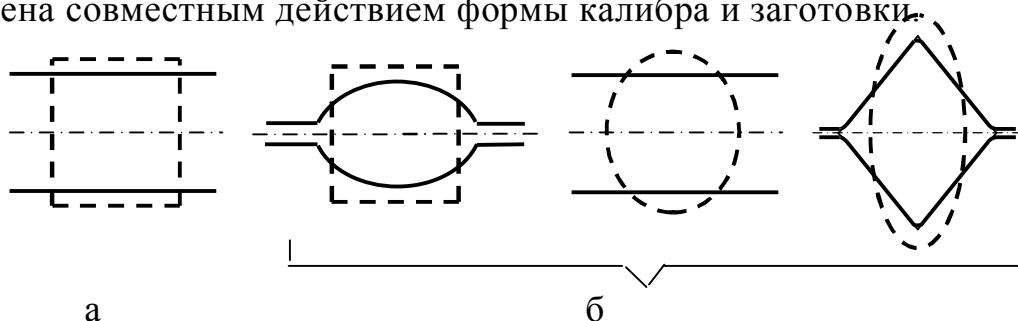


Рисунок 2.1 – Примеры равномерной (а) и неравномерной деформации (б) при прокатке (по И.М. Павлову)

Неравномерное обжатие может привести к неоднородности структуры, особенно в заключительных стадиях горячей обработки давлением. В отдельных частях тела степень деформации может быть критической и в других - выше критической. Вследствие этого получаются крупные и мелкие зерна. Неравномерность деформации в результате несоответствия формы заготовки форме инструмента также приводит к снижению пластичности тела в результате действия дополнительных напряжений.

Неоднородность свойств может быть зональной (макроскопической), когда свойства одной части тела отличаются от другой части, например, когда слиток (заготовка) нагрет неравномерно по сечению или деформируемое тело составлено из разных металлов (биметалл), и может быть микроскопической, обусловленной неоднородностью или анизотропией свойств кристаллитов.

Рассмотрим влияние зональной неоднородности свойств на неравномерность деформации. Допустим, что слиток (заготовка) неравномерно нагрет так, что наружные слои имеют более высокую температуру. Нагретые слои как более мягкие деформируются в большей степени, чем внутренние холодные. Это приводит к появлению дополнительных напряжений сжатия в наружных слоях и растяжения во внутренних.

При большом перепаде температур по сечению слитка, большой степени деформации и малой пластичности металла дополнительные напряжения растяжения могут вызвать разрывы внутренних слоев. Если слиток был нагрет по сечению равномерно, а затем охлажден с поверхности (например, инструментом), то появятся дополнительные напряжения сжатия во внутренних (горячих) слоях и растяжения в наружных с возможным появлением поперечных разрывов.

При деформации тела, составленного из металлов с разными механическими свойствами, в мягких слоях появятся дополнительные напряжения сжатия, а в твердых — растяжения. Если твердые слои имеют пониженную пластичность, то в них произойдут разрывы.

В рассмотренных случаях неравномерность деформации проявлялась в пределах больших участков (зон) деформируемого тела; дополнительные напряжения уравнивались в пределах всего тела, такие дополнительные напряжения называют зональными или дополнительными напряжениями первого рода.

Неравномерность деформации может быть вызвана неоднородностью свойств кристаллитов и различием их ориентировки (микроскопическая неоднородность свойств).

При осадке тела, состоящего из зерен, оказывающих различное сопротивление деформации, более мягкие зерна стремятся уменьшить высоту, чему противодействуют более твердые зерна. В результате в мягких зернах в направлении осадки появятся дополнительные напряжения растяжения, а в твердых - сжатия. В плоскости, перпендикулярной направлению осадки, мягкие зерна стремятся получить большую вытяжку, чем твердые. В последних появятся дополнительные напряжения растяжения, а в мягких - сжатия. Большее или меньшее сопротивление деформации зерен может быть обусловлено разным их химическим составом (многофазные сплавы) и различной ориентировкой в чистых металлах.

Дополнительные напряжения при неравномерности деформации, обусловленной микроскопической неоднородностью свойств (разной податливостью зерен), уравниваются в пределах группы зерен; эти напряжения называют дополнительными напряжениями второго рода.

Кристаллическая природа металлов и анизотропия механических свойств кристаллитов приводят к неравномерности деформации, если даже исключено влияние всех остальных причин.

Неравномерность деформации – одна из самых основных особенностей процесса прокатки. Неравномерность деформации сама, являясь следствием очень простых причин, в то же время приводит к очень важным следствиям, главные из которых:

- возникновение в различных зонах деформируемого металла внутренних остаточных напряжений (как сжатия, так и растяжения);
- вынужденное уширение;
- утяжка металла;
- изменение характера напряженного состояния в очаге деформации.

Изменение характера напряженного состояния в очаге деформации сказывается на силовых условиях деформации; возникновение внутренних остаточных напряжений при определенных условиях приводит к искажению профиля или к нарушению его сплошности; вынужденное уширение и особенно утяжка металла определяют условия получения требуемого фасонного профиля.

2.3 Оборудование, инструмент, образцы

Исследование неравномерности деформации при прокатке производят на лабораторном стане продольной прокатки с цилиндрическими валками с применением специальных образцов из свинца (рисунок 2.2).

Образцы со сложным поперечным сечением позволяют изучить особенности неравномерности деформации по ширине прокатываемых полос и влияние неравномерности деформации на качество продукции.

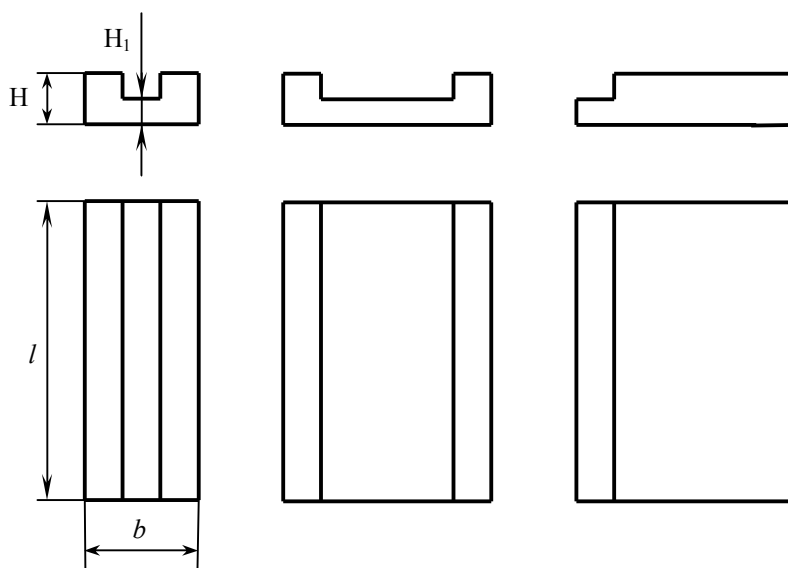


Рисунок 2.2 – Образцы для изучения неравномерности деформации при продольной прокатке

2.4 Порядок проведения работы

Выполнить эскизы образцов до деформации и указать материал образцов.

Произвести прокатку образцов на лабораторном прокатном стане с обжатиями, заданными преподавателем. При прокатке соблюдать основы техники безопасности.

Выполнить эскизы образцов после деформации, отметить характерные наблюдаемые явления; с помощью схем основных, дополнительных и результирующих напряжений в выводах объяснить причины наблюдаемых явлений.

2.5 Обработка экспериментальных данных

Результаты выполненной работы представляют в виде эскизов недеформированных и деформированных образцов, схем основных и дополнительных напряжений для каждого образца и выводов с объяснением причин наблюдаемых характерных явлений по каждому образцу.

2.6 Содержание отчета

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

- 1) цель работы;
- 2) изложение теоретического введения;
- 3) краткое описание методики выполнения работы;
- 4) эскизы образцов до деформации;
- 5) эскизы образцов после деформации;
- 6) описание характеристик явлений, наблюдаемых при деформации каждого образца;
- 7) выводы с объяснением причин наблюдаемых характерных явлений.

2.7 Контрольные вопросы

1. Что такое неравномерность деформации?
2. Какие Вам известны причины неравномерности деформации?
3. Перечислите дефекты продукции, обусловленные неравномерностью деформации.
4. Назовите причины возникновения дополнительных напряжений.
5. Какие мероприятия необходимо проводить для снижения брака при прокатке?
6. К каким последствиям приводит неравномерность деформации при прокатке?

2.8 Рекомендуемая литература

1. Громов И.П. Теория обработки металлов давлением. М.: Металлургия, 1978.
2. Зотов В.Ф. Производство проката. – М.: Интермет Инжиниринг, 2000.

Лабораторная работа 3. Условие постоянства объема металла и коэффициенты деформации

3.1 Цель работы

Закрепление знаний о проявлении условия постоянства объема металла; о величинах, характеризующих пластическую деформацию металлов; изучение принципа действия лабораторного прокатного стана; обучение оцениванию погрешности измерений.

3.2 Теоретическое введение

При разработке новых, совершенствовании действующих технологий и выполнения исследований в области обработки металлов давлением используют условие постоянства объема металла, согласно которому плотность деформируемого металла сохраняется постоянной в течение всего цикла обработки. Это условие записывают в виде

$$h_0 \cdot b_0 \cdot l_0 = h_1 \cdot b_1 \cdot l_1, \quad (3.1)$$

где h_0, h_1 – толщина заготовки до и после деформирования, мм;

b_0, b_1 – ширина заготовки до и после деформирования, мм;

l_0, l_1 – длина заготовки до и после деформирования, мм.

В действительности при обработке металлов давлением наблюдаются отклонения от этого положения. При горячей прокатке на блюминге слитков кипящей стали вследствие исчезновения в первых 5...6 проходах пустот, усадочной раковины, пузырей плотность металла повышается от 6,9 до 7,85 т/м³, т.е. объем слитка уменьшается на 12%. При дальнейшей горячей деформации плотность металла (следовательно, и объем) практически не изменяются.

При холодной обработке давлением ранее деформированного металла плотность снижается в результате увеличения числа дефектов решетки, вакансий, дислокаций, появления микротрещин. Соответственно этому объем металла увеличивается. Точными опытами установлено, что при степени деформации 80% уменьшение удельного объема стали составляет 0,25...0,35%, при степени деформации 60% изменение объема меди и латуни достигает 1...2%. В практических расчетах параметров технологических процессов отмеченными изменениями плотности пренебрегают.

Из условия постоянства объема можно получить

$$\frac{h_1 \cdot b_1 \cdot l_1}{h_0 \cdot b_0 \cdot l_0} = 1. \quad (3.2)$$

Величина $\frac{h_0}{h_1} = \frac{1}{\eta}$ характеризует деформацию металла в направлении толщины полосы и называется коэффициентом высотной деформации (коэффициентом обжатия); величина $\frac{b_1}{b_0} = \beta$ – деформацию в направлении ширины полосы и называется коэффициентом поперечной деформации (коэффициентом уширения); величина $\frac{l_1}{l_0} = \lambda$ – деформацию в направлении длины полосы и называется коэффициентом продольной деформации (коэффициентом вытяжки).

Используя указанные обозначения получим

$$\eta \cdot \beta \cdot \lambda = 1, \quad (3.3)$$

После логарифмирования

$$\ln \eta + \ln \beta + \ln \lambda = 0. \quad (3.4)$$

Следовательно, алгебраическая сумма логарифмов коэффициентов деформации по трем взаимно перпендикулярным направлениям равна нулю.

При выполнении технологических расчетов используют следующие величины:

– абсолютное обжатие за проход $\Delta h = h_0 - h_1$,

или за несколько проходов $\Delta h_{\Sigma} = h_0 - h_n$;

– относительное обжатие за проход $\varepsilon = \frac{h_0 - h_1}{h_0}$,

или за несколько проходов $\varepsilon_{\Sigma} = \frac{h_0 - h_n}{h_0}$;

– абсолютное уширение $\Delta b = b_1 - b_0$;

– коэффициент вытяжки за проход $\lambda = \frac{l_1}{l_0} = \frac{F_0}{F_1} = \frac{h_0 \cdot b_0}{h_1 \cdot b_1}$,

или за несколько проходов $\lambda_{\Sigma} = \frac{l_n}{l_0} = \frac{F_0}{F_n} = \frac{h_0 \cdot b_0}{h_n \cdot b_n}$;

– и уже названные коэффициенты $\frac{1}{\eta}$; β ; λ .

Изделия из металлов чаще всего получают пластической обработкой за несколько операций. Поэтому если технологический процесс включает несколько проходов полосы через валки, то в этом случае вводится понятие среднего коэффициента вытяжки в нескольких проходах. Под величиной среднего коэффициента вытяжки подразумевается такой коэффициент вытяжки, который был бы в том случае, если бы коэффициенты вытяжки во всех проходах были одинаковыми. Тогда можно записать

$$\lambda_{\Sigma} = \lambda_{cp} \cdot \lambda_{cp} \cdot \lambda_{cp} \cdot \dots \cdot \lambda_{cp} = \lambda_{cp}^n. \quad (3.5)$$

Из данной формулы получаем величину среднего коэффициента вытяжки

$$\lambda_{cp} = \sqrt[n]{\lambda_{\Sigma}}, \quad (3.6)$$

отсюда

$$n = \frac{\ln \lambda_{\Sigma}}{\ln \lambda_{cp}}. \quad (3.7)$$

В некоторых случаях при теоретическом анализе используют величину относительной высотной деформации, вычисляемую следующим образом: $\varepsilon' = \frac{h_0 - h_1}{h_1}$. Наиболее точно высотную деформацию характеризует логарифмический показатель (истинный или интегральный), который определяют интегрированием бесконечно малых относительных изменений высоты полосы. Например, в рассматриваемом проходе логарифмический показатель высотной деформации

$$\delta_i = - \int_{h_{i-1}}^{h_i} \frac{dh_i}{h} = \ln h \Big|_{h_i}^{h_{i-1}} = \ln \frac{h_{i-1}}{h_i}. \quad (3.8)$$

Суммарный логарифмический показатель высотной деформации (за n проходов)

$$\delta_n = \ln \frac{h_0}{h_n}. \quad (3.9)$$

3.3 Оборудование, инструмент, образцы

Проверка опытным путем условия постоянства объема металла производится при прокатке на лабораторном стане продольной прокатки образцов прямоугольного сечения из свинца, имеющих следующие размеры: $h_0=2...5$ мм; $b_0=20...40$ мм; $l_0=100...200$ мм.

Измерение образцов до и после каждого прохода производят штангенциркулем. Расчетной длиной считают расстояние между рисками, нанесенными в 7...10 мм от торцов полосы (рисунок 3.1).

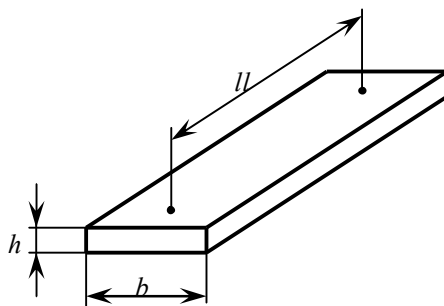


Рисунок 3.1 – Обозначение размеров образцов

3.4 Порядок проведения работы

Этапами работы являются:

- получение двух образцов различных размеров;
- разметка расчетной длины образцов;
- измерение исходных размеров образцов (по три измерения на размер), запись средних значений в таблицу 3.1;
- прокатка каждого образца за три прохода; при прокатке соблюдать правила техники безопасности;
- измерение размеров образцов после каждого прохода и запись средних значений в таблицу 3.1.

3.5 Обработка экспериментальных данных

Определение объема металла, а также коэффициентов деформации в каждом проходе вычисляют по формулам, приведенным в теоретическом введении. Расчет относительной погрешности определения объема в каждом проходе производят по выражению

$$\Delta = \frac{V_0 - V_i}{V_0} \cdot 100\%,$$

где V_0 – объем металла до деформации в соответствующем проходе, мм³;
 V_i – то же после деформации, мм³.

Значения относительной погрешности вносятся в таблицу 3.1.

Окончательные результаты работы по расчету параметров деформации представляют в таблице 3.2 и в тексте выводов по работе.

Таблица 3.1 – Определение объема образцов до и после деформации

Номер образца	Номер прохода	Размеры и объем образца до деформации				Размеры и объем образца после деформации				Погрешность опыта Δ , %
		h_0 , мм	b_0 , мм	l_0 , мм	V_0 , мм ³	h_i , мм	b_i , мм	l_i , мм	V_i , мм ³	
Образец 1	1									
	2									
	3									
Образец 2	1									
	2									
	3									

Таблица 3.2 – Коэффициенты деформации

Номер образца	Δh_i , мм	Δh_{Σ} , мм	Δb_i , мм	ε_i , %	ε_{Σ} , %	ε'_i , %	δ_i , %	$\frac{l}{\eta_i}$	β_i	$\frac{l_i}{l_{i-1}}$	$\frac{F_{i-1}}{F_i}$	λ_{Σ}	λ_{cp}
Образец 1													
Образец 2													

3.6 Содержание отчета

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

- 1) цель работы;
- 2) изложение теоретического введения;
- 3) краткое описание методики выполнения работы;
- 4) таблицы 3.1 и 3.2 с результатами эксперимента;
- 5) выводы с анализом результатов работы.

3.7 Контрольные вопросы

1. При каких условиях наблюдается значительное изменение плотности деформируемого металла?
2. Происходит ли при горячей и холодной деформации заметное изменение плотности ранее деформированного металла?
3. В чем заключается условие постоянства объема при обработке металлов давлением?
4. Какое практическое использование находит условие постоянства объема?
5. Запишите известные Вам математические выражения, характеризующие условие постоянства объема металла при обработке металлов давлением.
6. Перечислите основные показатели деформации.
7. Рассчитайте коэффициент вытяжки при волочении прутка до диаметра D_1 , если исходный диаметр прутка D_0 .
8. Что такое обжатие по высоте и коэффициент высотного обжатия?
9. Чем отличается относительная деформация от истинной относительной деформации?
10. Как Вы понимаете коэффициент продольной деформации и коэффициент вытяжки?

3.8 Рекомендуемая литература

1. Бахтинов В.Б. Технология прокатного производства. – М.: Металлургия, 1983.
2. Громов Н.П. Теория обработки металлов давлением. М.: Металлургия, 1978.
3. Зотов В.Ф. Производство проката. – М.: Интермет Инжиниринг, 2000.

Лабораторная работа 4. Скоростные условия при прокатке

4.1 Цель работы

Закрепление знаний о скоростных условиях при прокатке; развитие навыков исследования процесса прокатки; обучение умению анализировать полученные результаты.

4.2 Теоретическое введение

Представление о характере движения металла в очаге деформации очень важно. Оно принимается за основу при выводе зависимостей между основными параметрами прокатки, при анализе силовых, скоростных и энергетических условий прокатки.

Распределение горизонтальных скоростей металла в очаге деформации можно получить, исходя из принципа постоянства секундных объемов, который формулируется следующим образом: через любое поперечное сечение очага деформации в единицу времени должно проходить одинаковое количество металла.

Объем металла, проходящий через любое поперечное сечение очага деформации в единицу времени (секунду), составляет:

$$\frac{F_i \cdot l_i}{\tau} = F_i \cdot \mathcal{G}_i, \quad (4.1)$$

где F_i – площадь поперечного сечения полосы в произвольном сечении, мм²;
 l_i – продольное перемещение полосы через это сечение за время τ , мм;
 \mathcal{G}_i – скорость движения полосы в данном сечении, м/с.

Т.е. условие постоянства секундных объемов

$$\begin{aligned} F_i \cdot \mathcal{G}_i &= const, \\ F_0 \cdot \mathcal{G}_0 &= F_i \cdot \mathcal{G}_i = F_1 \cdot \mathcal{G}_1, \end{aligned} \quad (4.2)$$

где $\mathcal{G}_0, \mathcal{G}_1$ – соответственно скорости движения полосы на входе и на выходе из валков, м/с.

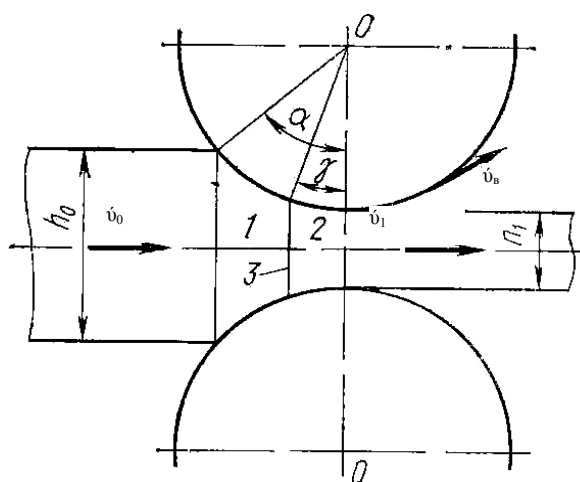
Площади поперечного сечения полосы по мере продвижения ее от плоскости входа в валки к плоскости выхода из валков уменьшаются. Поэтому, чтобы сохранилось равенство секундных объемов, скорости частиц в соответствующих сечениях должны постепенно возрастать.

Из выражения (4.2) можно выразить

$$\begin{aligned} \mathcal{G}_1 &= \frac{F_0 \cdot \mathcal{G}_0}{F_1}, \\ \mathcal{G}_1 &= \lambda \cdot \mathcal{G}_0. \end{aligned} \quad (4.3)$$

Таким образом, скорость выхода полосы из валков больше скорости входа полосы в валки на величину коэффициента вытяжки.

Кроме этого, исследования показывают, что при установившемся процессе прокатки скорость выхода полосы из валков больше окружной скорости валков, а скорость входа полосы в валки меньше окружной скорости валков. Это связано с тем, что при обжатии полосы по высоте частицы металла вынуждены перемещаться в продольном направлении. При этом некоторое количество металла выжимается вперед по ходу прокатки; скорость этих частиц, полученная в результате деформации, суммируется с окружной скоростью валков. Другая часть смещенного объема металла отжимается назад, против хода прокатки; скорость этих частиц вычитается из окружной скорости валков. Т.е. в очаге деформации есть зона попятного движения металла или зона отставания (где скорость полосы меньше окружной скорости валков) и зона попутного движения металла или зона опережения (где соотношение скоростей обратное) (рисунок 4.1).



1 – зона отставания; 2 – зона опережения; 3 – нейтральное сечение

Рисунок 4.1 – Зоны отставания и опережения в очаге деформации

Сечение, где скорости движения полосы и валков одинаковы, называется нейтральным сечением. Его положение в очаге деформации характеризуется величиной нейтрального угла.

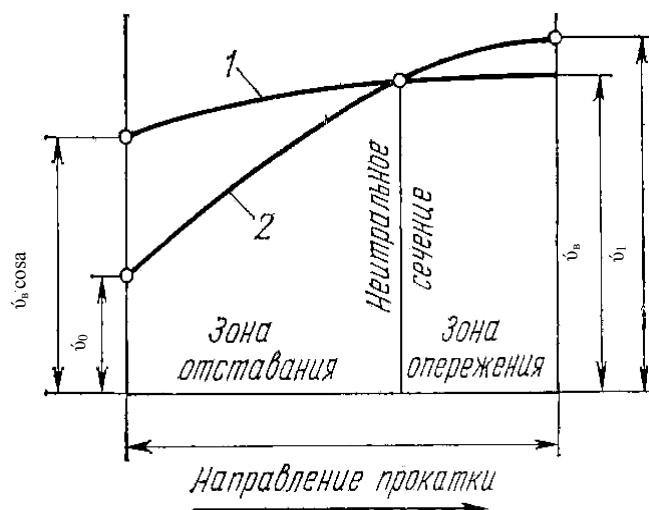
Следовательно, опережение – это превышение скорости выхода металла из валков по сравнению с их окружной скоростью, а отставание – уменьшение скорости входа металла в валки по сравнению с их окружной скоростью. На рисунке 4.2 представлена диаграмма, отражающая соотношение скоростей валков и металла на всем протяжении очага деформации.

Опережение и отставание принято подсчитывать как относительную величину (или в процентах) по следующим формулам.

Опережение

$$S_{hl} = \frac{g_l - g_e}{g_e}, \quad (4.4)$$

где S_{hl} – опережение.



1 – горизонтальная составляющая окружной скорости валков; 2 – скорость металла
 Рисунок 4.2 – Соотношение скоростей валков и металла в очаге деформации

Опережение как уже было сказано можно выразить в процентах

$$S_{h1} = \frac{v_{np} - v_e}{v_e} \cdot 100\%.$$

Обычно величина опережения составляет $2 \div 6\%$.

Отставание

$$S_{h0} = \frac{v_e \cdot \cos \alpha - v_0}{v_e \cdot \cos \alpha} = 1 - \frac{v_0}{v_e \cdot \cos \alpha}, \quad (4.5)$$

где S_{h0} – отставание;

α – угол захвата, град.

С учетом формул (4.3) и (4.4) формула (4.5) преобразуется к виду

$$S_{h0} = 1 - \frac{v_1}{\lambda} \cdot \frac{1 + S_{h1}}{v_1 \cdot \cos \alpha} = 1 - \frac{1 + S_{h1}}{\lambda \cdot \cos \alpha}. \quad (4.6)$$

В теории прокатки основное внимание уделяется исследованию опережения. Это объясняется тем, что опережение экспериментально и аналитически определяется проще, чем отставание. С другой стороны именно величина опережения необходима для решения ряда практических задач, когда требуется достаточно точно определить скорость выхода полосы из валков (скорость прокатки). Если же известно опережение, то отставание нетрудно рассчитать по формуле (4.6).

Опережение является чувствительным кинематическим показателем процесса прокатки. Изменение любого геометрического или физического фактора прокатки отражается на величине опережения. На величину опережения сказываются такие

параметры, как диаметр валков, на которых осуществляется процесс прокатки; величина абсолютного обжатия; толщина полосы; угол захвата; коэффициент трения и пр.

Влияние всех этих параметров на опережение выражается формулой Эжелунда, по которой и производят расчет опережения процесса прокатки

$$S_{hl} = \frac{\gamma^2}{2} \cdot \left(\frac{D}{h_1} - 1 \right), \quad (4.7)$$

где γ – нейтральный угол (рисунок 4.1), град;

D – диаметр валков, мм.

Для нахождения нейтрального угла можно воспользоваться формулой Эжелунда – Павлова

$$\gamma = \frac{\alpha}{2} \cdot \left(1 - \frac{\alpha}{2 \cdot \beta} \right), \quad (4.8)$$

где β – угол трения, град, определяемый из выражения

$$\beta = \arctg f, \quad (4.9)$$

где f – коэффициент трения.

Величину опережения металла при прокатке экспериментально можно определить методом кернов. Для этого по окружности валка в одном из перпендикулярных его оси сечений наносят две метки на расстоянии L_g одна от другой. После прокатки на полосе останутся отпечатки (бугорки) от меток. Если измерить расстояние между метками на полосе L_n , то величину опережения можно определить по формуле

$$S_{hl} = \frac{L_n - L_g}{L_g}, \quad (4.10)$$

где L_g – расстояние между метками на валке, мм;

L_n – расстояние между метками на полосе, мм.

4.3 Оборудование, инструмент, образцы

Работа проводится на лабораторном двухвалковом одноклетевом стане. Используют образцы из свинца толщиной 2...3 мм, шириной 30...40 мм, длиной 100...200 мм. Для измерения образцов до и после прокатки применяют штангенциркуль.

Измерение толщины образцов производят в трех сечениях по длине и берут среднее арифметическое значение.

4.4 Порядок проведения работы

- производят измерение толщины исходных образцов;
- производят прокатку образцов при различных условиях трения: в сухих валках и в валках, смазанных мелом с различными степенями деформации;
- рассчитывают толщину образцов после прокатки, опережение, отставание, угол захвата и нейтральный угол (величина угла трения задана);
- все результаты заносят в таблицу 4.1.

4.5 Обработка экспериментальных данных

Производят расчет параметров, отраженных в таблице 4.1.

По результатам расчета строят графики зависимости опережения и отставания (опытных и расчетных) от толщины полосы для каждого из условий трения.

Делают анализ, в котором необходимо отразить влияние изменяемых в работе параметров прокатки на скоростные условия прокатки. Обосновать это влияние, а также технологическую и практическую значимость взаимосвязи рассматриваемых параметров.

Таблица 4.1 – Результаты исследования влияния условия трения, толщины полосы и обжатия на скоростные условия в очаге деформации

Условия трения	Номер образца	Номер прохода	Экспериментальные данные						Расчетные данные				
			h_0 , мм	h_1 , мм	Δh , мм	L_n , мм	L_n , мм	S_{h1} , %	S_{h0} , %	α , град	γ , град	S_{h1} , %	S_{h0} , %
Сухие валки	Образец 1	0											
		1											
		2											
		3											
	Образец 2	0											
		1											
		2											
		3											
Смазанные мелом	Образец 1	0											
		1											
		2											
		3											
	Образец 2	0											
		1											
		2											
		3											

4.6 Содержание отчета

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

- 1) цель работы;
- 2) конспект теоретического введения;
- 3) краткое описание методики проведения эксперимента;
- 4) результаты эксперимента и их анализ с включением в этот раздел таблицы и графиков с соответствующим расположением их по тексту раздела;
- 5) выводы по работе.

4.7 Контрольные вопросы

1. Какое явление называют опережением и отставанием?
2. Что такое нейтральное сечение?
3. Какие факторы влияют на положение нейтрального сечения в очаге деформации при прокатке?
4. Как уширение влияет на величину опережения?
5. Каким соотношением связаны между собой опережение и отставание?

6. Приведите примеры практической значимости опережения при прокатке.
7. Определить максимально возможное значение нейтрального угла для свободной прокатки.
8. Как изменится опытная величина опережения при смещении кернов с середины полосы на ее край?

4.8 Рекомендуемая литература

1. Бахтинов В.Б. Технология прокатного производства. – М.: Металлургия, 1983.
2. Зотов В.Ф. Производство проката. – М.: Интермет Инжиниринг, 2000.
3. Целиков А.И., Никитин Г.С., Рокотян С.Е. Теория продольной прокатки. М.: Металлургия, 1980.

Лабораторная работа 5. Исследование уширения металла при прокатке

5.1 Цель работы

Закрепление знаний основных закономерностей течения металла при прокатке; изучение влияние ширины полосы и обжатия на величину абсолютного и относительного уширения при прокатке; исследование влияние ширины полосы на соотношение между продольной и поперечной деформацией.

5.2 Теоретическое введение

В процессе прокатки происходит постепенное уменьшение высоты полосы. Смещенный по высоте объем металла перемещается в длину и ширину. Смещение объема металла в продольном направлении приводит к увеличению длины полосы (продольная деформация), смещение объема металла в поперечном направлении – к уширению (поперечная деформация). Высотная, продольная и поперечная деформации связаны между собой условием постоянства объема металла при прокатке:

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

где h_0, b_0, l_0 – толщина, ширина и длина полосы до прокатки, мм;

h_1, b_1, l_1 – толщина, ширина и длина полосы после прокатки, мм.

Из уравнения постоянства объема металла следует

$$\frac{h_0}{h_1} = \frac{b_1 \cdot l_1}{b_0 \cdot l_0} \quad (5.1)$$

или

$$\frac{l}{\eta} = \beta \cdot \lambda. \quad (5.2)$$

Следовательно, при данном обжатии продольная деформация тем больше, чем меньше уширение, и наоборот.

Уширение при прокатке может быть свободным, ограниченным и вынужденным. Свободным называют уширение прямоугольной полосы, прокатываемой в валках с гладкой цилиндрической бочкой. При свободном уширении частицы металла, перемещающиеся в поперечном направлении, не встречают никаких внешних препятствий в виде стенок калибров (имеет место лишь обычное контактное трение). При ограниченном уширении поперечное перемещение прокатываемого металла ограничивается боковыми гранями калибра.

Вынужденным называют уширение, вызванное формой калибра, обуславливающей неравномерное обжатие прокатываемой полосы по ее ширине.

Уширение в большинстве случаев представляет собой отрицательное явление. Оно снижает общую вытяжку и вызывает в боковых краях полосы значительные напряжения растяжения. Уширение имеет большое значение для процесса прокатки и поэтому должно приниматься во внимание. Особенно точно следует учитывать величину уширения при прокатке в калибрах, т.к. от этого зависит качество получаемого профиля.

Основная цель прокатки – удлинение металла. Поэтому нужно всемерно противодействовать уширению, способствуя максимальной продольной деформации.

Величина уширения при прокатке в гладких валках зависит от соотношения главных напряжений в очаге деформации (рисунок 5.1). Чем меньше поперечное напряжение σ_2 (по абсолютной величине), тем больше при прочих равных условиях уширение. При определенных соотношениях напряжений поперечная деформация может быть больше продольной.

На соотношение главных напряжений, а, следовательно, и на величину уширения оказывают влияние геометрические, физические и механические факторы. К геометрическим факторам относят величину обжатия, диаметр валков, ширину и толщину полосы. К механическим факторам относят наличие внешних зон прокатываемого металла, натяжение, подпор. К физическим – коэффициент трения. Все факторы, влияющие на коэффициент трения (температура, материал и шероховатость валков, скорость прокатки и т.п.), влияют тем самым на величину уширения.

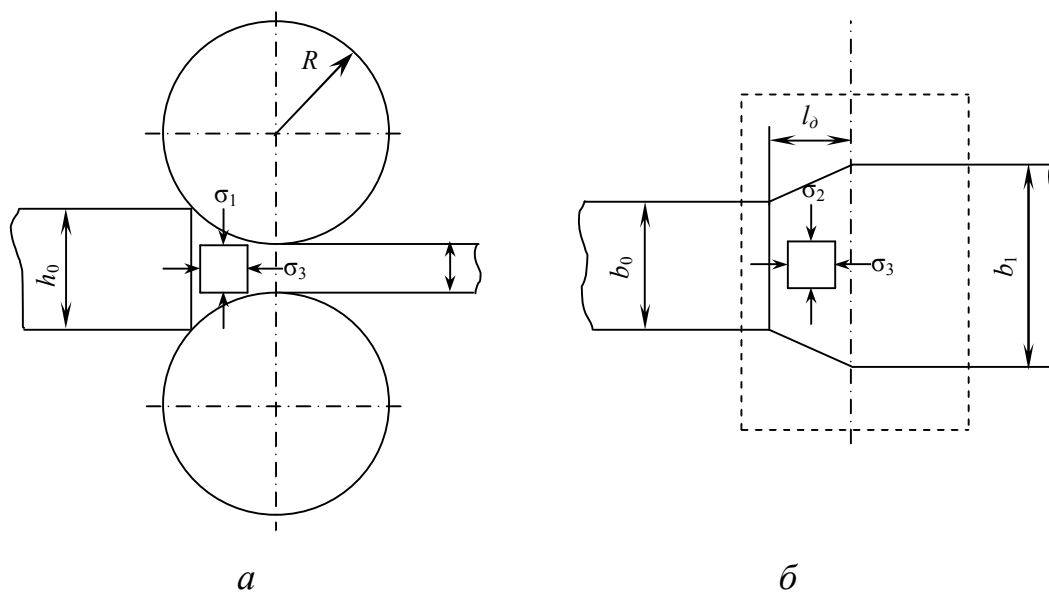


Рисунок 5.1 – Очаг деформации при прокатке в гладких валках (а) и схема главных напряжений (б)

Одним из основных параметров при прокатке, определяющих величину уширения, является обжатие, с его повышением уширение также повышается. Это объясняется тем, что при росте обжатий смещенный объем металла по высоте увеличивается и, соответственно, объем металла, смещенный в поперечном и продольном направлении, также возрастает. Кроме того, при увеличении обжатия увеличивается длина очага деформации, определяемая по формуле

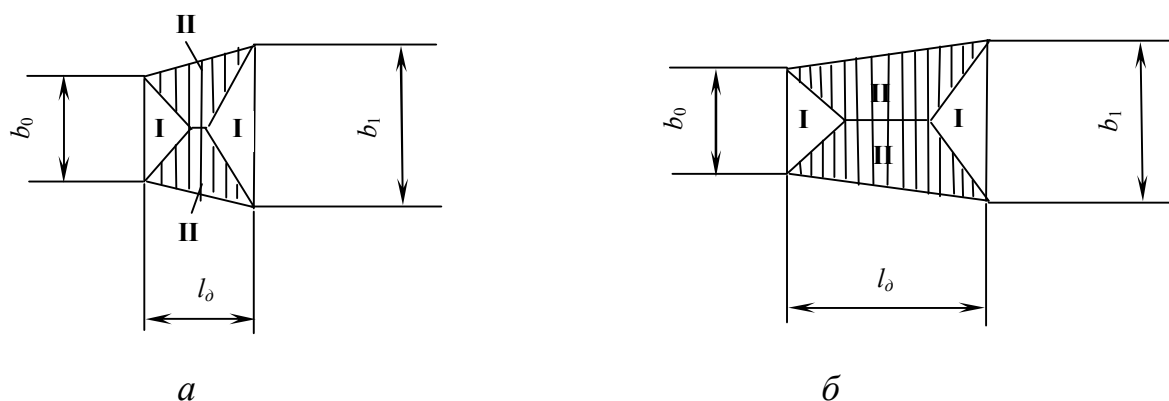
$$l_{\partial} = \sqrt{R \cdot \Delta h}, \quad (5.2)$$

где R – радиус валков, мм;

Δh – абсолютное обжатие, мм.

Следовательно, при увеличении длины очага деформации в соответствии с законом наименьшего сопротивления увеличиваются зоны стремления деформации металла к уширению (рисунок 5.2), и, соответственно, увеличивается сопротивление продольному перемещению (увеличивается величина подпирющих сил трения в продольном направлении).

Увеличение диаметра валков способствует росту протяженности очага деформации и увеличению сил трения в продольном направлении. Соответственно смещение металла в поперечном направлении будет увеличиваться. Таким образом, с увеличением диаметра валков уширение увеличивается.



I – зоны стремления деформации металла к удлинению; II – зоны стремления деформации металла к уширению: *a* – короткий очаг деформации; *б* – длинный очаг деформации

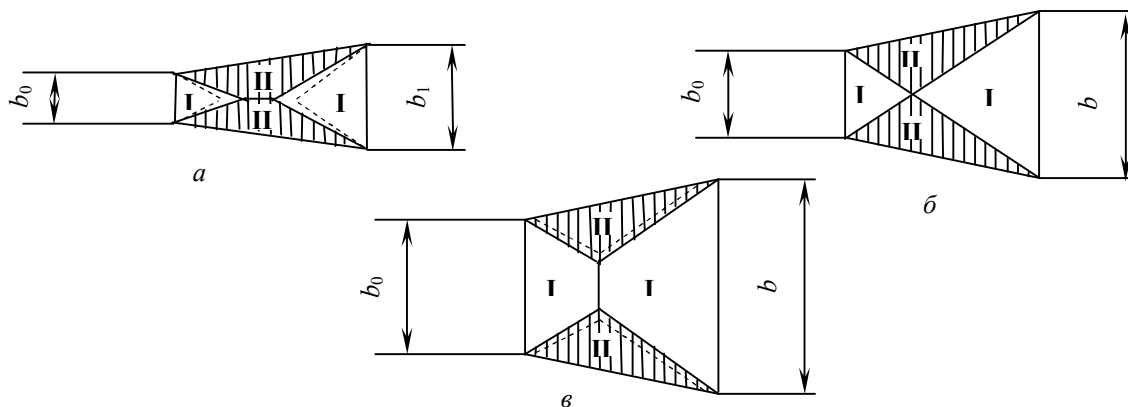
Рисунок 5.2 – Схемы очага деформации

Влияние ширины полосы на уширение неоднозначно и зависит от соотношения размеров очага деформации при прокатке.

Если ширина прокатываемой полосы меньше длины очага деформации, то такой очаг называется узким, и в соответствии с законом наименьшего сопротивления, зоны стремления деформации металла к уширению с обеих сторон полосы соприкасаются (рисунок 5.3, *a*).

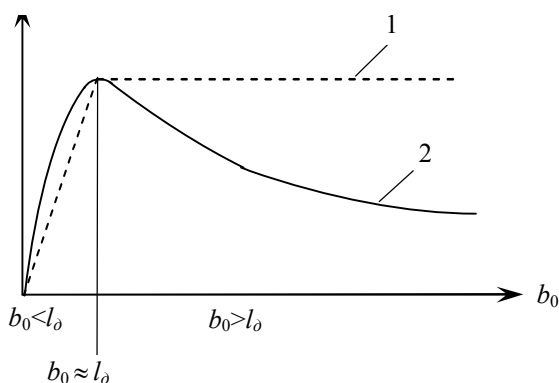
По мере роста ширины полосы площадь условных зон стремления металла к уширению (II) растет до своего максимума (рисунок 5.3, *б*) – критический очаг деформации и далее остается постоянной (рисунок 5.3, *в*) – широкий очаг деформации

Влияние ширины полосы на величину уширения без учета влияния внешних зон должно характеризоваться ломаной линией 1 на рисунке 5.4.



а) узкий очаг деформации ($b_0 < l_d$); б) критический очаг деформации ($b_0 \approx l_d$);
 в) широкий очаг деформации ($b_0 > l_d$)

Рисунок 5.3 – Условное деление очага деформации на зоны



1 – без учета влияния внешних зон; 2 – с учетом влияния внешних зон

Рисунок 5.4 – Влияние ширины полосы на величину уширения

Однако реальный процесс прокатки протекает в условиях наличия внешних недеформированных зон, которые изменяют характер уширения.

Действие внешних зон на уширение состоит в стремлении выровнять вытяжки в продольном направлении в центральных и боковых частях прокатываемой полосы. Благодаря действию внешних зон дополнительные продольные напряжения растяжения возникают не только в боковых частях полосы в контактной зоне деформации, но и в тех боковых ее частях, которые находятся во внеконтактных зонах деформации на входе в валки и на выходе из них. В прилегающих к ним зонах по ширине полосы возникают дополнительные продольные напряжения сжатия, уравновешивающие в каждом рассматриваемом сечении внешних зон тела напряжения растяжения.

В результате часть металла боковых зон II (рисунок 5.3) смещается в направлении длины, а часть металла из зоны I смещается в поперечном направлении, т.е. происходит перераспределение металла между зонами. Итоговый результат зависит от величины дополнительных напряжений и их соотношения с величиной контактных напряжений. В случае $b_0 < l_d$ площадь зон II возрастает, при $b_0 \approx l_d$ – остается примерно постоянной и при $b_0 > l_d$ площадь зон II уменьшается (границы раздела зон очага деформации показаны пунктиром).

С учетом влияния внешних зон зависимость уширения от ширины полосы характеризуется кривой 2 на рисунке 5.4.

Аналогичное влияние на уширение оказывают переднее и заднее натяжения, с повышением которых уширение уменьшается.

При повышении коэффициента трения возрастают как продольные, так и поперечные напряжения. Однако первые растут более интенсивно. Поэтому с увеличением коэффициента трения уширение также возрастает.

Температура, состав прокатываемой стали, скорость прокатки, материал и шероховатость валков оказывают влияние на уширение через коэффициент трения. При изменении этих факторов изменяется коэффициент трения, который в свою очередь, влияет на уширение.

Определение величины уширения с учетом всех факторов, влияющих на него, является сложной задачей. Поэтому большинство формул для подсчета уширения содержат только основные факторы, а действие остальных учитывается соответствующими коэффициентами.

5.3 Оборудование, инструмент, образцы

Исследование ширины полосы на уширение и соотношение между продольной и поперечной деформациями выполняют при прокатке на лабораторном двухвалковом стане цилиндрическими валками. Образцы из свинца толщиной 2...5 мм, шириной 20, 50 и 75 мм и длиной 100...200 мм. Предварительно на поверхность образцов наносят две поперечные параллельные риски, нанесенные в 7...10 мм от торцов полосы, которые служат для измерения длины образцов.

Изменение толщины и ширины образцов производят в трех сечениях по длине и берут среднее арифметическое значение. Размеры образцов измеряют штангенциркулем.

5.4 Порядок проведения работы

- производят измерение размеров образцов: h_0 – исходная толщина, b_0 – исходная ширина, l_0 – исходная длина и делают записи в таблице (по три измерения на размер).

- осуществляют последовательную прокатку образцов, начиная с самого широкого и кончая самым узким с одинаковым обжатием и заносят в таблицу 5.1 средние размеры, характеризующие толщину (h_1), длину (l_1) и ширину (b_1).

При проведении прокатки на лабораторном стане студенты обязаны соблюдать основы техники безопасной работы.

5.5 Обработка экспериментальных данных

1. Производят расчет и вносят в таблицу 5.1 следующие значения:

— абсолютное обжатие $\Delta h = h_0 - h_1$,

— относительное обжатие $\varepsilon = \frac{\Delta h}{h_0}$,

— абсолютное уширение $\Delta b = b_1 - b_0$,

— относительное уширение $\varepsilon_s = \frac{\Delta b}{b_0}$,

— коэффициент поперечной деформации $\beta = \frac{b_1}{b_0}$,

— коэффициент продольной деформации $\lambda = \frac{l_1}{l_0}$,

— коэффициент высотной деформации $\frac{l}{\eta} = \frac{h_0}{h_1}$.

2. По результатам опытных данных и расчета строят графики зависимости Δb , ε_s от относительной ширины полосы $\frac{b_0}{l_0}$.

3. По результатам экспериментов строят графики зависимости коэффициентов β , λ и η от ширины образцов.

Таблица 5.1 – Экспериментальные данные, полученные при прокатке полос различной ширины

Номер образца	Эксперимент													
	h_0 , мм	h_1 , мм	Δh , мм	ε_s , %	$1/\eta$	l_0 , мм	l_1 , мм	λ	b_0 , мм	b_1 , мм	Δb , мм	β	ε_s , %	
Образец 1														
Образец 2														
Образец 3														

5.6 Содержание отчета

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

- 1) цель работы;
- 2) конспект теоретического введения;
- 3) краткое описание методики проведения эксперимента по определению влияния ширины полосы на уширение;
- 4) таблицу данных измерений и расчетов;
- 5) графики, выполненные на миллиметровой бумаге: зависимости Δb , ε_s от $\frac{b_0}{l_0}$; β , λ , η от ширины образцов;
- 6) выводы об изменении абсолютного и относительного уширения в зависимости от ширины полосы и выводы о связи коэффициента вытяжки и коэффициента уширения по мере изменения ширины полосы.

5.7 Контрольные вопросы

1. Как записывается уравнение постоянства объема?
2. Какие виды уширения при прокатке Вы знаете?
3. Какие причины вызывают уширение?
4. Является ли уширение желательным явлением с точки зрения качества продукции и эффективности процесса?
5. Какие факторы влияют на величину уширения?
6. Каково влияние ширины полосы на уширение?
8. Какое действие оказывают внешние зоны полосы на уширение?
7. Опишите влияние исходного профиля заготовки на величину уширения при прокатке широкого листа.

5.8 Рекомендуемая литература

1. Бахтинов В.Б. Технология прокатного производства. – М.: Металлургия, 1983.
2. Суворов И.К. Обработка металлов давлением. М.: Высшая школа, 1980.
3. Целиков А.И., Никитин Г.С., Рокотян С.Е. Теория продольной прокатки. М.: Металлургия, 1980.

Лабораторная работа 6. Изучение течения металла при сжатии

6.1 Цель работы

Закрепление знаний о влиянии внешнего трения на процесс деформации; анализ роли условий процесса деформации на характер течения металла.

6.2 Теоретическое введение

В технологических процессах обработки металлов давлением необходимо определять соотношение между перемещениями металла в разных направлениях. Качественно это осуществляют на основе принципа наименьшего сопротивления, сформулированного С.И. Губкиным: «В случае возможности перемещения точек деформированного тела в различных направлениях каждая его точка перемещается в направлении наименьшего сопротивления».

Наиболее наглядное проявление принципа наименьшего сопротивления наблюдается при осадке (сжатии) металлического образца между параллельными плитами: в результате действия внешней силы в вертикальном направлении высота деформируемого тела уменьшается, вследствие сплошности металла поперечное сечение в горизонтальной плоскости увеличивается. В случае действия трения по контактной поверхности образца и инструмента сопротивление течению какой-либо частицы металла в горизонтальной плоскости будет различным. Согласно правилу А.Ф. Головина, перемещение любой точки тела в плоскости, перпендикулярной к действию внешней силы, происходит по кратчайшей нормали к периметру сечения. Следовательно, максимальную конечную деформацию тело получит в тех направлениях, по которым будет передвигаться наибольшее количество точек.

Контактные поверхности деформируемого тела, например, параллелепипеда и последующие сечения в горизонтальной плоскости можно разделить на четыре участка биссектрисами углов и линией, соединяющей точки пересечения биссектрис (рисунок 6.1).

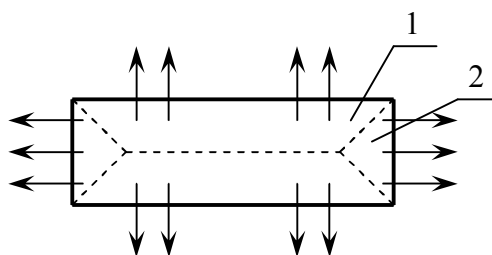


Рисунок 6.1 – Участки с возможными направлениями течения части металла

Эта линия и биссектрисы являются геометрическим местом точек, соответствующих началу нормалей одинаковой длины, следовательно, линиями раздела участков с разными возможными направлениями течения частиц.

Принимая во внимание количество точек с кратчайшими нормальями в участках 1 и 2, перемещение точек участков 1 первоначально является преобладающим. По мере увеличения степени осадки образцы периметры его поперечных сечений стремятся к

эллипсам, а затем эллипсы преобразуются в круги и далее движение точек происходит по радиусам.

Эта закономерность выражена правилом наименьшего периметра: любая форма поперечного сечения призматического или цилиндрического тела при осадке с наличием контактного трения стремится принять форму, имеющую при данной площади наименьший периметр, т.е. в пределе стремится к кругу.

Следует иметь в виду, что кратчайшая нормаль является направлением наименьшего сопротивления только при условии значительного по действию контактного трения.

Принцип наименьшего сопротивления и правило наименьшего периметра используют при назначении режимов деформации промышленных процессов. Например, штамповка круглой в плане поковки может быть осуществлена из заготовки с квадратным в плане сечением. При продольной прокатке поперечная деформация (уширение) тем больше, чем меньше ширина контактной поверхности и больше длина очага деформации; наоборот, продольная деформация тем больше и меньше уширение, чем меньше диаметр валков.

6.3 Оборудование, инструмент, образцы

Опыты выполняют на прессе. Для деформации применяют два образца из свинца: куб размером $10 \times 10 \times 10$ мм и параллелепипед размером $10 \times 10 \times 20$ мм. Размеры образцов определяют штангенциркулем.

6.4 Порядок проведения работы

Работу выполняют в следующей последовательности:

- эскизирование (обводка по периметру) образцов до деформации;
- последовательная осадка кубика с постепенно возрастающим усилием;
- последовательная осадка параллелепипеда с постепенно возрастающим усилием;
- обводка периметра образцов на отдельном листе бумаги с указанием схемы течения металла;

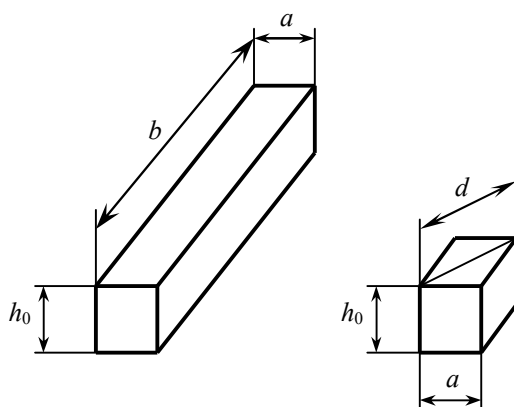


Рисунок 6.2 – Обозначение размеров образцов

6.5 Обработка экспериментальных данных

Результаты работы представляют в виде схем течения металла на эскизах образцов и текстом выводов по работе.

6.6 Содержание отчета

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

- 1) изложение теоретического введения;
- 2) краткое описание методики выполнения работы;
- 3) эскизы образцов до и после деформации с указанием схемы течения металла;
- 4) выводы с анализом результатов работы.

6.7 Контрольные вопросы

1. В чем физическая сущность принципа наименьшего сопротивления?
2. Какие следствия вытекают из принципа наименьшего сопротивления?
3. Какое практическое применение находит принцип наименьшего сопротивления?
5. При соблюдении каких условий можно наблюдать проявление принципа наименьшего сопротивления?
6. Какую роль выполняют силы внешнего трения при выполнении данного опыта?
7. Вы изобрели смазку, при которой коэффициент трения достигает нулевого значения; эту смазку Вы нанесли на поверхность инструмента и образца. Какую картину Вы будете наблюдать в этом случае?

6.8 Рекомендуемая литература

1. Сторожев М.В., Попов Е.А. Теория обработки металлов давлением. М.: Машиностроение, 1971.

КУНИЦИНА НАТАЛЬЯ ГЕННАДЬЕВНА

ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ

Лабораторный практикум
для студентов направления подготовки 150400 «Металлургия»,
всех форм обучения

Подписано в печать 26.11.2014		
Формат 60x90 $\frac{1}{16}$ Рег.№ 66	Печать офсетная Тираж 50 экз.	Уч.-изд.л. 2,4

ФГАОУ ВПО

Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»

Новотроицкий филиал

462359, Оренбургская обл., г. Новотроицк, ул. Фрунзе, 8.

E-mail: nfmisis@yandex.ru

Контактный тел. 8 (3537) 679729.