

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ АКАДЕМИКА С.П. КОРОЛЕВА
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)»

Ф. В. Гречников, В. Р. Каргин, Я. А. Ерисов

**Экспериментальные исследования
в листовой прокатке**

Электронное учебное пособие

САМАРА
2010

УДК 621.771

Авторы: **Гречников Фёдор Васильевич,**
Каргин Владимир Родионович,
Ерисов Ярослав Александрович

Рецензенты: заведующий кафедрой «ТМиАМ»
д.т.н., профессор Михеев В.А.,
д.т.н., профессор Арышпенский В.Ю.

Дано описание цикла лабораторных работ по экспериментальным исследованиям в листовой прокатке на лабораторном реверсивном стане холодной прокатки 300. Выполнение каждой работы предполагает предварительное знакомство студентов с методикой ее проведения, теорией и осуществляемыми расчетами и замерами.

Предназначены для студентов инженерно-технологического факультета, обучающихся по магистерской программе «Инновационные технологии получения и обработки материалов с заданными свойствами» по направлению 150400.68 «Металлургия».

Подготовлено на кафедре обработки металлов давлением.

Содержание

Условные обозначения	4
Инструкция по технике безопасности.....	5
Порядок подготовки, проведения, оформления и сдачи работ.....	12
Управление лабораторным станом 300.....	14
Лабораторная работа №1 «Прокатка».....	22
Лабораторная работа №2 «Изучение условий захвата металла валками при прокатке».....	27
Лабораторная работа №3 «Изучение поперечной деформации при прокатке».....	35
Лабораторная работа №4 «Изучение реверсивного стана холодной прокатки 300».....	42
Лабораторная работа №5 «Исследование анизотропии свойств при прокатке».....	55
Лабораторная работа №6 «Изучение энергетических параметров при прокатке».....	61
Лабораторная работа №7 «Исследование распределения давления по контактной поверхности при прокатке».....	67
Лабораторная работа №8 «Расчет режима обжатий при холодной прокатке».....	76
Список рекомендуемой литературы.....	86
Приложения.....	87

Условные обозначения

H_0, B_0, L_0 – толщина, ширина и длина заготовки до прокатки;

H_1, B_1, L_1 – толщина, ширина и длина заготовки после прокатки;

B – средняя ширина полосы;

$\Delta H, \Delta B$ – абсолютное обжатие и уширение;

$\varepsilon_H, \varepsilon_B$ – относительное обжатие и уширение;

μ, β, λ – обжатие, уширение и вытяжка;

R – радиус рабочих валков (на прокатном стане 300 установлены рабочие валки диаметром 75 мм);

l – горизонтальная проекция дуги захвата;

F – площадь контакта прокатываемого металла с валками;

α – угол захвата;

f – коэффициент трения;

P – усилие прокатки;

p_{cp} – среднее удельное давление металла на валки

Инструкция по технике безопасности

Общие требования к безопасности

1. К работе допускаются лица, обученные безопасным методам работы, прошедшие вводный инструктаж на рабочем месте.

2. Вводный инструктаж по технике безопасности и назначению кнопок пульта управления проводится преподавателем перед выполнением лабораторной работы, о чем производится запись в журнале по технике безопасности за подписью студента и преподавателя, проводившего инструктаж.

3. Каждый студент должен следить за безопасностью выполнения порученной ему работы, своевременно принимать меры к устранению возникшей опасности в работе и ставить об этом в известность преподавателя или лаборанта, ведущих лабораторные занятия.

4. Студент не имеет права трогать оборудование, которое на данном лабораторном занятии не используется.

5. Студент обязан соблюдать правила внутреннего распорядка, установленные в университете.

6. Студент обязан выполнять только ту работу, которая поручена преподавателем, при условии, что безопасные методы ее выполнения известны. В сомнительных случаях нужно обратиться к преподавателю за разъяснением. Каждый раз при получении новой, незнакомой работы требовать от преподавателя дополнительного инструктажа по охране труда.

7. При выполнении работы быть внимательным, не отвлекаться посторонними делами и разговорами, не отвлекать других.

8. Содержать в чистоте рабочее место в течение всей лабораторной работы. Запрещается загромождать проходы между оборудованием, проходы и доступы к противопожарному инвентарю, огнетушителям, кранам и сигнальным устройствам, а также центральные проходы и проезды.

9. Не снимать защитные приспособления с оборудования.

10. Не ходить по территории лаборатории без учебной надобности, оставлять рабочее место только с разрешения преподавателя.

11. На территории лаборатории выполнять следующие правила:

1) Не проходить в местах, не предназначенных для прохода.

2) Не переходить в не установленных местах рольганги, не подлезать под них.

3) Не прикасаться к проводке электропередач, электрораспределительным щитам, клеммам, розеткам, арматуре общего освещения и другим токоведущим частям, не открывать дверок электрошкафов, не снимать ограждения с токоведущих частей оборудования.

4) Курить только в специально оборудованном месте.

12. При получении травмы, независимо от ее тяжести, сообщить об этом преподавателю или лаборанту и по его направлению обратиться в здравпункт для оказания медицинской помощи и регистрации травмы, место происшествия оставить в исходном состоянии, если это не угрожает жизни людей.

13. Студент должен знать, что наиболее опасными и вредными производственными факторами, действующими на него в процессе выполнения работы, являются: острые и зазубренные кромки образцов; вращающиеся и движущиеся части оборудования и материала; шум от работающего оборудования; загазованность атмосферы лаборатории парами технологической смазки.

14. Рабочее место у стана должно быть хорошо освещено.

Ответственность

1. Обязанность студента соблюдать правила и нормы охраны труда является составной частью учебной дисциплины.

2. Лица, не выполняющие требования данной инструкции, нарушающие учебную дисциплину, привлекаются к дисциплинарной, административной или уголовной ответственности в зависимости от характера и последствий нарушения. Безопасность труда в значительной мере зависит от самого студента.

Требования безопасности перед началом работы

1. Во время работы на оборудовании надо соблюдать следующие правила:

1) Надевать одежду, не содержащую распахивающихся частей, металлических пуговиц из-за опасности их попадания в движущиеся и вращающиеся механизмы; не надевать шарфы, галстуки и фартуки; запрещается работать в надетых браслетах, кулонах и цепочках.

2) Работать только в застёгнутой одежде на все пуговицы и застёжки; ботинки должны быть зашнурованы и плотно сидеть на ноге.

2. Перед началом работы студент обязан:
 - 1) Прибыть на инструктаж и получить задание на лабораторную работу.
 - 2) Убрать с рабочих мест ненужные предметы, мешающие работе.
 - 3) Удостовериться в наличии и доступности средств первой медицинской помощи.
 - 4) Осмотреть прокатываемый образец (прокатка рулонов, имеющих завернутую кромку полосы, рванины, складки и другие дефекты, запрещается).
3. Студент не должен приступать к выполнению работ при следующих нарушениях требований безопасности:
 - 1) Неисправностях оборудования и инструмента, указанных в инструкциях заводов-изготовителей, при которых не допускается их применение.
 - 2) Недостаточной освещенности рабочих мест и подходов к ним.
 - 3) Наличия помех (выступающих предметов, оголенных проводов) в зоне производства работ.
4. При обнаружении нарушений требований безопасности труда студент обязан незамедлительно сообщить о них преподавателю или лаборанту.

Требования безопасности во время работы

1. Студент должен выполнять только ту работу, к выполнению которой допущен, по которой прошел обучение и инструктаж по охране труда.
2. Запрещается включать стан и производить прокатку в отсутствие лаборанта или преподавателя.
3. Студент должен производить все действия по включению механизмов стана только по команде преподавателя.
4. Выполнение любых работ, не оговоренных преподавателем, производится с разрешения и под непосредственным руководством преподавателя или лаборанта.
5. Применять необходимые для безопасной работы исправное оборудование, инструмент, приспособления; использовать их только для тех работ, для которых они предназначены.
6. Соблюдать правила перемещения в помещении и на территории организации, пользоваться только установленными проходами.
7. Работать на исправном оборудовании с использованием электрических блокировок при наличии освещения и вентиляции согласно действующим нормам. При выполнении работ пользоваться исправными инструментами и приспособлениями, указанными в технологии.
8. Перед включением механизмов стана убедиться в отсутствии людей в опасных зонах.
9. Перед пуском стана предупредить всех работающих на стане о его пуске.

10. Когда стан работает, воспрещается производить установку или переустановку проводок, открывать или снимать ограждения.

11. Категорически воспрещается обтирать или смазывать валки во время их вращения со стороны входа в них металла (рис. 1), а также чистить передний стол и проводки.

12. При регулировке нажимного устройства во время работы стана воспрещается становиться с передней стороны на стол или на станину клетки.

13. При прокатке коротких полос для задачи их в валки обязательно следует пользоваться вспомогательными деревянными брусками (рис. 2), устраняющими возможность попадания рук в валки.

14. При прокатке длинных полос необходимо пользоваться проводками, установленными по ширине прокатываемого изделия, что предохраняет металл от сдвига в сторону. Если же проводки почему-либо нельзя установить, необходимо внимательно следить за правильной перпендикулярной подачей полосы в валки, стоять сзади полосы и держать ее за задний конец, а не за края (рис. 3). В противном случае при сдвиге полосы в сторону она может зажать пальцы или руку работающего.

15. При ручной задаче заготовки запрещается работать в рукавицах или перчатках, т.к. мотающиеся волокна могут за что-нибудь зацепиться.

16. При подаче полосы нужно следить за тем, чтобы не ударить ею стоящего с выходной стороны.

17. Если при задаче полосы валки ее не захватывают, то необходимо либо отпустить (приподнять) валки, либо заострить конец полосы. Категорически запрещается вталкивать металл с силой, навалившись на него телом и толкая его.

18. При прокатке рулонного материала:

1) Ручная задача концов ленты допускается только после полной останковки барабана моталки.

2) Заправка полосы в валки должна производиться только на заправочной скорости.

3) Замер профиля прокатываемого металла на ходу стана должен производиться только дистанционно с использованием соответствующих измерительных приборов.

4) Контроль степени натяжения полосы должен выполняться с помощью соответствующих приборов. Определять натяжение полосы рукой запрещается.

19. При обнаружении загорания или признаков загорания немедленно остановить оборудование, сообщить мастеру или начальнику участка и в дальнейшем действовать согласно требованиям инструкции по пожарной безопасности.

20. Студенту запрещается во время работы:

1) Опирается на стан.

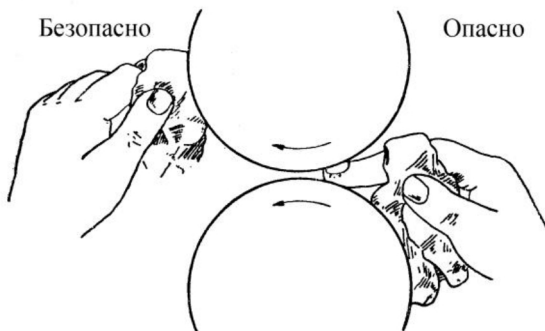


Рис. 1. Обтирка валков

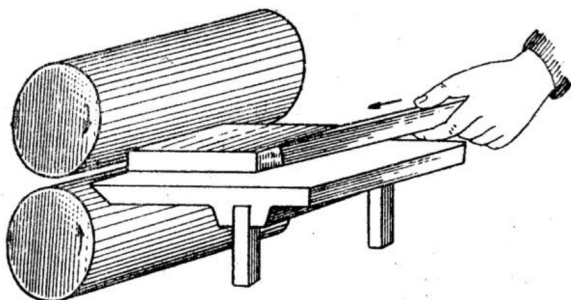


Рис. 2. Подача в валки короткого образца при помощи деревянного бруска

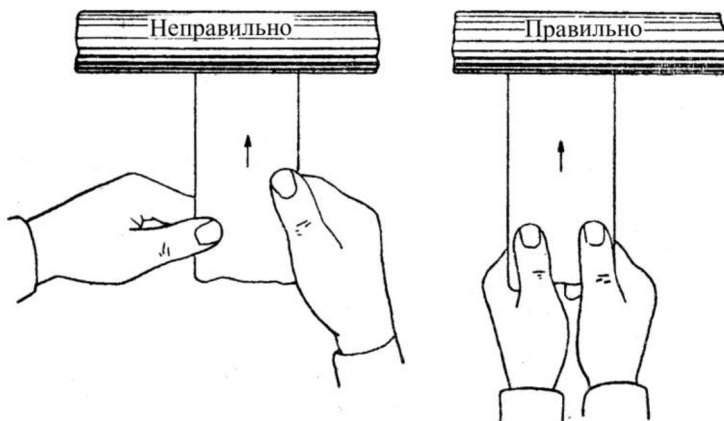


Рис. 3. Подача образцов в валки

- 2) Носить около стана одежду нараспашку. Одеваться или раздеваться около вращающихся механизмов стана.
 - 3) Прокатывать посторонние предметы: не относящиеся к данной работе образцы, обрезки металла, монеты, лезвия бритв и др.
 - 4) Находиться в зоне движения полосы, работающих механизмов стана.
 - 5) Приближаться и прикасаться к движущим деталям оборудования и материалу.
 - 6) Самостоятельно проводить какие-либо ремонтные работы.
21. Студенту следует докладывать обо всех внештатных ситуациях преподавателю.

Требования безопасности в аварийных ситуациях

1. При обнаружении неисправности инструмента или оборудования работу немедленно прекратить и доложить об этом преподавателю.
2. При возникновении пожара обесточить оборудование, вызвать пожарную команду по телефону 01, сообщить преподавателю и действовать согласно инструкции по пожарной безопасности.
3. Студент обязан знать место расположения первичных средств пожаротушения и уметь пользоваться ими.
4. Емкости с легковоспламеняющимися жидкостями и другие огнеопасные и взрывоопасные вещества (материалы) должны быть удалены от очага пожара немедленно.
5. В случае отключения электроэнергии выключить оборудование, доложить преподавателю. Не включать оборудование до соответствующего распоряжения преподавателя.
6. При получении травмы оказать первую доврачебную медицинскую помощь пострадавшему:
 - 1) Ушибы и ранения: для снятия боли при ушибах воздействовать на больное место холодом (вода, лед). При сильных ушибах обеспечить пострадавшему покой и вызвать врача. Для остановки кровотечения применяется давящая повязка, а при сильном – жгут (накладывается выше раны до 2-х часов, не более).
 - 2) Переломы: обеспечить покой и неподвижность поврежденной кости, путем наложения шины из твердого материала (доска, картон). Шина прибинтовывается к сломанной конечности бинтом, веревкой.
 - 3) Ожоги: при обширных ожогах пострадавшего, не раздевая, завернуть в чистую простынь или ткань, укрыть теплее, напоить теплым чаем. Обожженное лицо закрыть стерильной марлей. При ожогах глаз делать при-

мочки из раствора борной кислоты (половина чайной ложки кислоты на стакан воды).

4) При поражении электрическим током освободить пострадавшего от воздействия тока: выключить рубильник, убрать провод палкой или перерубить провод. Если пострадавший без сознания, а дыхание редкое, или его нет, немедленно сделать искусственное дыхание "изо рта в рот", "изо рта в нос" и непрямой массаж сердца.

7. После оказания доврачебной медицинской помощи пострадавшего следует доставить в лечебное учреждение.

Требования безопасности по окончании работы

1. Выключить оборудование, убрать лишние предметы и отходы.
2. Привести в порядок рабочее место, убрать инструмент, материалы в предназначенные для этого места хранения.
3. Сдать оборудование преподавателю и сообщить обо всех нарушениях, имевших место в процессе работы.
4. Вымыть лицо и руки теплой водой с мылом.

Порядок подготовки, проведения, оформления и сдачи работ

1. Цель лабораторной работы состоит в том, чтобы студент самостоятельно разобрался в исследуемом явлении, получил не только навыки экспериментирования, но и научился анализировать результаты опыта, обрабатывать их, строить графические зависимости, делать выводы.

2. Лабораторные работы выполняются бригадами в составе 3-4 студентов.

3. Инструкции к лабораторным работам выдаются студентам на кафедре "Обработка металлов давлением" или библиотекой института.

4. К выполнению очередной лабораторной работы допускаются студенты, изучившие теоретическую часть работы, порядок ее выполнения, показавшие удовлетворительные знания по этим вопросам при опросе. В процессе подготовки надо прочитать соответствующий раздел курса по конспекту, прочитать и выполнить требования инструкции к лабораторной работе. В тех случаях, когда лабораторная работа выполняется раньше, чем прочитан на лекции соответствующий раздел курса, в инструкции также дается и теория вопроса.

5. Неподготовленные студенты к проведению лабораторной работы не допускаются.

6. Студенты отчитываются по лабораторной работе в конце занятия или на специальном контрольном занятии.

7. Студент, не отчитавшийся по лабораторным работам без разрешения деканата, к экзамену не допускается. Пропущенные студентами лабораторные работы, в случае допуска к ним, проводятся в дополнительное время.

8. Каждый студент обязан соблюдать следующий порядок работы в лаборатории:

а) контрольный опрос для проверки подготовленности студентов к выполнению работы – первые 15 минут;

б) выполнение экспериментальной части лабораторной работы;

в) обработка экспериментальных данных;

г) оформление отчета;

д) защита отчета.

9. В отчете по каждой лабораторной работе должны содержаться:

а) краткое изложение теоретической части (используемые формулы, схема процессов);

б) табличный материал результатов измерений и обработки, графическое представление анализируемых величин;

в) схемы оснастки;

г) выводы.

10. Выводы должны содержать:

- а) краткое выражение результатов проведенной работы;
- б) анализ исследованных зависимостей;
- в) объяснение физических закономерностей в случае нарушения предполагаемого характера зависимостей.

11. Результат лабораторной работы зависит во многом от тщательности постановки опыта или, как говорят ученые, от чистоты эксперимента. Необходимо все элементы опыта – измерение, отсчеты, расчеты – выполнять тщательно с требуемой точностью. Спешка и связанные с ней неточности, ошибки, нарушения в последовательности проведения опыта часто приводят к неверным результатам, к необходимости повторить опыт.

Получив конечный результат опыта, нужно предъявить его преподавателю для проверки. Лишь после этого можно считать опыт законченным и приступить к его оформлению.

12. Отчет желательно составлять непосредственно в лаборатории, сразу после выполнения опыта. К составлению отчета необходимо отнестись серьезно, вдумчиво, выполнять эту работу самостоятельно. Даже при бригадном методе выполнения лабораторной работы отчет у каждого члена бригады должен быть индивидуальным.

Все записи, в том числе и вспомогательные расчеты, производятся только на готовом бланке отчета, выдаваемом на каждую лабораторную работу (см. приложение). Отчеты сохраняются до экзамена.

13. В том случае, если студент выполнил работу в полном объеме без ошибок, сформулировал содержательные выводы и дал удовлетворительные ответы на вопросы теоретического характера, связанные с данной работой, лабораторная работа считается зачтенной, о чем в ведомости кафедры делается соответствующая запись.

Управление лабораторным станом 300

Управление станом производится с помощью пульта управления, схематично изображенного на рис. 4.

Прокатка листовых заготовок

1. Перевести главный выключатель в электрошкафу в положение «ON» (ВКЛ).

2. Установить с правой и с левой стороны рабочей клетки столы для размещения заготовок; при прокатке длинномерных заготовок дополнительно установить рольганги.

3. С помощью ручного кривошипа развести барабан правой моталки на максимальный диаметр (вращать кривошип по часовой стрелке до упора).

4. Освободить барабан правой моталки посредством маховичка (при незафиксированном барабане маховичок находится в нейтральном положении и вращается в любую сторону свободно).

5. Вручную поворачивать барабан правой моталки до тех пор, пока контактный стержень разжима не будет находиться непосредственно перед концевым выключателем (в этом положении на нем загорается светодиод), при этом на пульте управления загорается сигнальная лампочка «Барабан справа разведён».

6. В этом положении зафиксировать барабан правой моталки с помощью маховичка (маховичок установить в положение «Тормоз» – вращать маховичок по часовой стрелке до упора).

7. Повторить шаги 2-5 для барабана левой моталки.

8. Заготовку разместить по центру стола стана со стороны подачи металла и зафиксировать ее направляющими линейками; линейки с противоположной стороны раздвинуть на максимальную ширину.

9. Включить систему управления станом нажатием кнопки «Управление ВКЛ» на пульте управления (рис. 4).

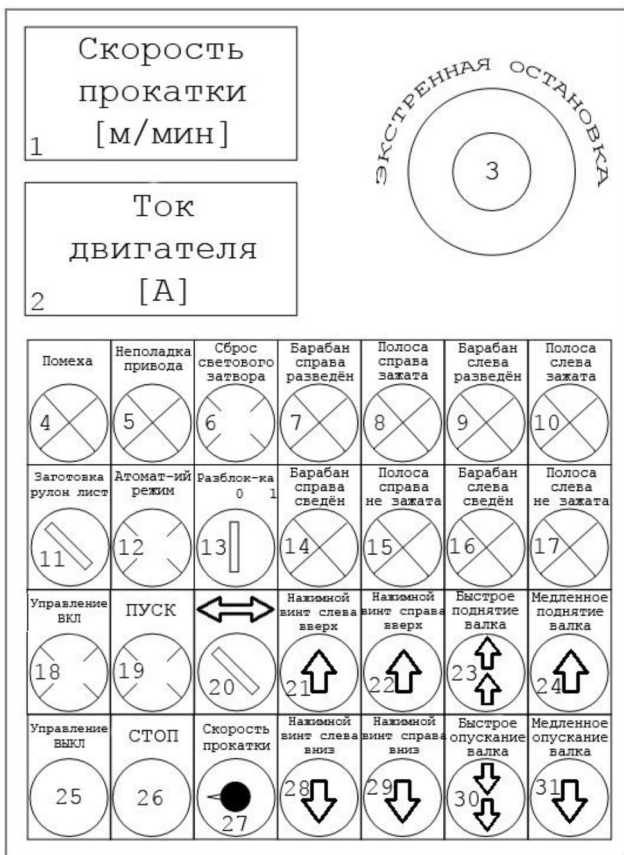
Через небольшой промежуток времени установка готова к эксплуатации, запускается пневматическая система охлаждения главного двигателя.

10. Перевести переключатель «Заготовка» в положение «Карточка».

11. Для выбора направления прокатки перевести переключатель 20 влево – для прокатки справа налево, или вправо – для прокатки слева направо.

Переключение направления прокатки невозможно до тех пор, пока приводной электродвигатель полностью не остановится.

При переключении направления вращения обязательно следите за тем, чтобы никто не находился на противоположной стороне или возле моталок, в зоне возможного получения травмы.



Дисплеи: 1 – скорость прокатки; 2 – ток главного электродвигателя; *сигнальные лампы*: 4 – предохранительный автомат; 5 – неполадка привода; 7, 9 – барабан справа (слева) разведён; 8, 10 – полоса справа (слева) зажата; 14, 16 – барабан справа (слева) сведён; 15, 17 – полоса справа (слева) не зажата; *кнопки*: 3 – экстренная остановка стана; 21, 22 – перемещение нажимного винта слева (справа) вверх; 23, 24 – быстрое (медленное) поднятие валка; 25 – выключение управления станом; 26 – выключение привода валков; 28, 29 – перемещение нажимного винта слева (справа) вниз; 30, 31 – быстрое (медленное) опускание валка; *кнопки-лампочки*: 6 – сброс прерывания светового затвора; 12 – включение автоматического режима прокатки; 18 – включение управления станом; 19 – включение привода валков; *двухпозиционные переключатели*: 11 – выбор типа заготовки (рулон / лист); 13 – разблокировка нажимных винтов (ключом); 20 – выбор направления прокатки; 27 – потенциометр регулировки скорости прокатки

Рис. 4. Пульт управления станом

12. Посредством нажатия кнопок «Быстрое поднятие валка», «Быстрое опускание валка», «Медленное поднятие валка», «Медленное опускание валка» установить валковый зазор настолько, чтобы можно было просунуть обрабатываемый материал и таким образом определить исходную толщину.

Точная настройка валкового зазора должна производиться только в режиме точной регулировки, т.е. нажатием кнопок «Медленное поднятие валка» или «Медленное опускание валка». При быстрых кратковременных нажатиях на эти кнопки регулировка производится в микронном диапазоне.

В режиме быстрого опускания, т.е. при нажатии кнопки «Быстрое опускание валка», следите за тем, чтобы верхний валок не столкнулся с нижним. Последние 0,5 мм перемещения необходимо регулировать кнопкой «Медленное опускание валка».

В режиме быстрого поднимания, т.е. при нажатии кнопки «Быстрое поднятие валка», верхний валок может быть установлен на максимальный раствор (10 мм) – в крайнем верхнем положении он автоматически останавливается.

13. Установить стрелки шкальных дисков в нулевое положение.

14. Посредством нажатия кнопки «Медленное опускание валка» установить необходимый раствор валков согласно шкальной индикации (одно деление диска – 0,01 мм; один оборот – 0,3 мм).

При опускании верхнего валка стрелка шкального диска вращается по часовой стрелке, при поднятии – против.

Максимальное обжатие за проход выбирается из условия захвата металла валками и максимального усилия прокатки (560 кН), чтобы двигатель при прокатке не перегружался. Показания тока двигателя отображаются на амперметре 2 пульта управления. Максимальное допустимое значение тока составляет 144 А. Максимально допустимое время перегрузки электродвигателя при превышении 1,6 раз равно 15 секундам.

15. Перевести потенциометр «Скорость прокатки ($\times 2$)» в нулевое положение (вращать влево до щелчка).

16. Нажатием кнопки-лампочки «ПУСК» включить привод валков – на пульте управления загорается «ПУСК».

17. Установить требуемую скорость прокатки посредством вращения потенциометра «Скорость прокатки ($\times 2$)», при этом валки начинают вращаться и стан переходит в автоматический режим – на пульте управления загорается «Автоматический режим».

Шкальная индикация 0-10 потенциометра 27 соответствует скорости прокатки 0-20 м/мин. Показания скорости прокатки отображаются в м/мин на дисплее 1.

18. Произвести смазку путем распыления смазочного материала на верхний опорный валок.

19. Осуществить задачу заготовки в валковый зазор с помощью специального толкателя и произвести прокатку.

Заготовки следует подавать в валковый зазор под световым зазором с помощью подходящего безопасного задающего элемента, который не утянет в зазор между валками. Используйте задающий элемент из мягкого материала, который при случайном попадании между валками не повредит их (лучше всего подходит толкатель из дерева или искусственного материала). Не работайте в рукавицах или перчатках, т.к. мотающиеся волокна могут за что-нибудь зацепиться.

В аварийной ситуации при прокатке нажмите красную кнопку «Экстренная остановка», при этом стан полностью выключается, вращение валков тотчас же прекращается за счет тормозов двигателя. Запуск стана осуществляется по схеме описанной выше.

20. Во время прокатки следите за величиной усилия (недолжно превышать 560 кН) по измерительному прибору «Kistler» и величиной тока двигателя (недолжно превышать 144 А) по дисплею 2 пульта управления.

21. Если в результате срабатывания светового затвора прокатный стан отключился, и на пульте управления загорелась кнопка-лампочка «Сброс светового затвора», то прерывание нужно снять, нажав на нее, а прокатный стан запустить в работу заново по схеме описанной выше.

22. После прокатки заготовки отключить привод валков нажатием кнопки «СТОП».

Не останавливайте прокатный стан сбросом скорости на ноль на потенциометре. Отключайте двигатель только нажатием кнопки «СТОП».

23. Выключить систему управления станом нажатием кнопки «Управление ВЫКЛ».

24. Обесточить установку установив главный выключатель в электрошкафу в положение «OFF» (ВЫКЛ).

Прокатка рулонного материала

1. Перевести главный выключатель в электрошкафу в положение «ON» (ВКЛ).

Дальше описана наладка стана при прокатке рулона справа налево, при этом правый барабан выступает в роли разматывателя, а левый – в роли наматывателя. При прокатке слева направо правый барабан выступает в роли наматывателя, а левый – в роли разматывателя; прокатка выполняется аналогично описанной ниже схеме.

2. Установить с правой и с левой стороны рабочей клетки дополнительные ролики.

3. С помощью ручного кривошипа установить барабан правой моталки на минимальный диаметр (вращать кривошип против часовой стрелки до полного схождения сегментов барабана).

4. На барабане правой моталки открыть эксцентриковую клемму устройства зажима полосы с помощью ручного кривошипа (вращать в любую сторону до щелчка).

5. Зафиксировать барабан правой моталки с помощью маховичка для удобства установки рулона (маховичок установить в положение «Тормоз» – вращать маховичок по часовой стрелке до упора).

6. Установить рулон на барабане правой моталки и зафиксировать его посредством разжима барабана на максимальный диаметр ручным кривошипом (вращать кривошип по часовой стрелке до упора).

7. Освободить барабан правой моталки посредством маховичка таким образом, чтобы полосу можно было стянуть вручную (маховичок находится в нейтральном положении и вращается в любую сторону свободно).

8. С помощью ручного кривошипа установить барабан левой моталки на максимальный диаметр.

9. На барабане левой моталки открыть эксцентриковую клемму устройства зажима полосы с помощью ручного кривошипа.

10. Освободить барабан левой моталки посредством маховичка.

11. Вручную поворачивать барабан левой моталки до тех пор, пока зажимной шлиц не будет смотреть в сторону прокатной клетки.

12. В этом положении зафиксировать барабан левой моталки с помощью маховичка.

13. Направляющие линейки с обеих сторон стана раздвинуть на максимальную ширину.

14. Вручную стянуть полосу с правого барабана и подвести ее конец к валкам.

15. Включить систему управления станом нажатием кнопки «Управление ВКЛ» на пульте управления.

16. Перевести переключатель «Заготовка» в положение «Рулон».

17. Установить направление прокатки справа налево для этого перевести переключатель 20 влево.

18. Посредством нажатия кнопок «Быстрое поднятие валка», «Быстрое опускание валка», «Медленное поднятие валка», «Медленное опускание валка» установить валковый зазор настолько, чтобы можно было просунуть обрабатываемый материал и таким образом определить исходную толщину.

19. Установить стрелки шкальных дисков в нулевое положение.

20. Посредством нажатия кнопки «Медленное опускание валка» установить необходимый раствор валков согласно шкальной индикации (одно деление диска – 0,01 мм; один оборот – 0,3 мм).

21. Перевести потенциометр «Скорость прокатки (×2)» в нулевое положение (вращать влево до щелчка).

22. Нажатием кнопки-лампочки «ПУСК» включить привод валков – на пульте управления загорается «ПУСК».

Перед прокаткой рулонного материала убедитесь в отсутствии людей, стоящих около барабанов моталок.

23. Перевести потенциометр «Скорость прокатки (×2)» в ненулевое положение (вращать вправо до щелчка), при этом стан начинает работу на заправочной скорости (4,7 м/мин).

В режиме заправки полосы регулировка скорости прокатки потенциометром 27 не производится; стан работает на заправочной скорости, величина которой предустановлена потенциометром, находящимся в электрошкафу. Значение скорости, установленное потенциометром «Скорость прокатки (×2)» действительно только в автоматическом режиме.

24. Произвести смазку путем распыления смазочного материала на верхний опорный валок; в процессе прокатки периодически смазывать верхний опорный валок.

25. Ввести полосу в межвалковый зазор и произвести прокатку.

26. При подходе конца полосы к барабану левой моталки установить потенциометр «Скорость прокатки (×2)» в нулевое положение.

27. Вставить конец полосы в зажимной шлиц и закрыть эксцентриковую клемму устройства зажима полосы с помощью ручного кривошипа (вращать кривошип в любую сторону до упора).

28. Установить барабан левой моталки в зацепление с цепной передачей, передающей крутящий момент от главного привода, посредством маховичка (маховичок установить в положение «Сцепление» – вращать маховичок против часовой стрелки до упора).

29. Перевести потенциометр «Скорость прокатки (×2)» в ненулевое положение.

30. После нескольких оборотов барабана левой моталки начинает моргать кнопка-лампочка «Автоматический режим», нажав на нее, перевести стан в автоматический режим («Автоматический режим» горит постоянно).

31. Установить требуемую скорость прокатки посредством вращения потенциометра «Скорость прокатки (×2)».

32. Во время прокатки следите за величиной усилия (недолжно превышать 560 кН) по измерительному прибору и величиной тока двигателя (недолжно превышать 144 А) по дисплею 2 пульта управления.

33. Если в результате срабатывания светового затвора прокатный стан отключился, и на пульте управления загорелась кнопка-лампочка «Сброс светового затвора», то прерывание нужно снять, нажав на нее, а прокатный стан запустить в работу заново по схеме описанной выше.

34. После прокатки рулона отключить привод валков нажатием кнопки «СТОП».

35. Выключить систему управления станом нажатием кнопки «Управление ВЫКЛ».

36. Обесточить установку установив главный выключатель в электрошкафу в положение «OFF» (ВЫКЛ).

Настройка параллельности верхнего валка

Перед тем как начать прокатку необходимо выставить верхний валок точно параллельно по отношению к нижнему валку. Кроме того настройка валков в определенное непараллельное положение может использоваться для прокатки конической полосы. Однако, отклонение от параллельности не должно превышать 0,5 мм, иначе возникает опасность повреждения подшипников и валков.

Для настройки параллельности необходимо:

1. Перевести главный выключатель в электрошкафу в положение «ON» (ВКЛ).

2. Включить систему управления станом нажатием кнопки «Управление ВКЛ» на пульте управления.

3. Опустить верхний валок к нижнему нажатием кнопок «Быстрое опускание валка» и «Медленное опускание валка» до тех пор, пока между ними не останется только небольшой просвет.

Если по световому зазору видно, что валки не параллельны, необходимо произвести настройку параллельности.

4. Для отдельной регулировки правой или левой стороны необходимо перевести переключатель (ключ) «Разблокировка» в положение «Вкл».

5. Нажатием кнопок «Нажимной винт справа вверх», «Нажимной винт слева вверх», «Нажимной винт справа вниз», «Нажимной винт слева вниз» добейтесь визуальной параллельности валков, для этого, в зависимости от ширины светового зазора в том или ином месте, нужно приподнять или опустить левую или правую верхнюю сторону.

6. Установить стрелки шкальных дисков в нулевое положение.

7. С левой и правой стороны вставить по одной тестовой полоске и прокатать их одновременно (тестовые полоски должны быть одинаковой толщины и выполнены из одинакового материала).

8. Измерить толщину тестовых полосок с помощью микрометра.

9. Выровнять разницу в толщине тестовых полосок между правой и левой стороной нажатием кнопок «Нажимной винт справа вверх», «Нажимной винт слева вверх», «Нажимной винт справа вниз», «Нажимной винт слева вниз».

Соответствующее значение настройки можно посмотреть на шкальном

диске.

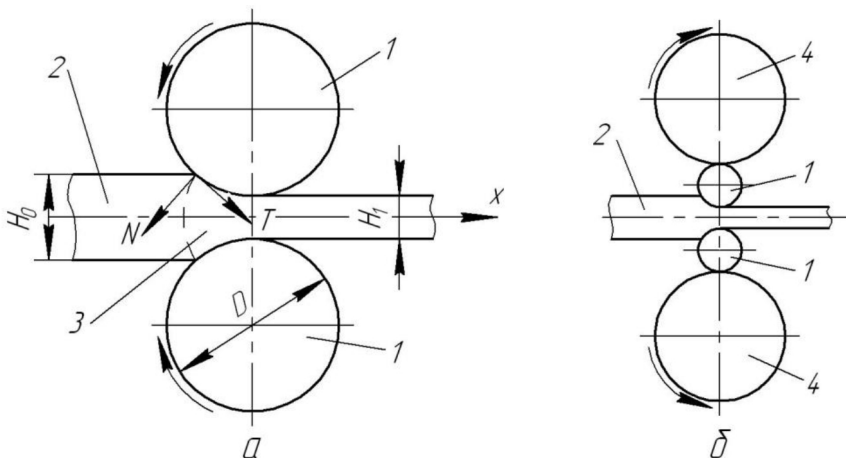
10. Установить стрелки шкальных дисков в нулевое положение.
11. Настроенные параметры предохранить от случайного сбоя, повернув переключатель «Разблокировка» в положение «Выкл»; в этом случае кнопки «Нажимной винт справа вверх», «Нажимной винт слева вверх», «Нажимной винт справа вниз», «Нажимной винт слева вниз» деактивируются.
12. Выключить систему управления станом нажатием кнопки «Управление ВЫКЛ».
13. Обесточить установку установив главный выключатель в электрошкафу в положение «OFF» (ВЫКЛ).

Лабораторная работа №1 «Прокатка»

Цель работы: изучение процесса получения металлоизделий прокаткой, определение деформаций при прокатке.

Краткие теоретические сведения

Одним из наиболее распространенных способов производства изделий из цветных металлов и сплавов является продольная прокатка на двух- или четырех валковых прокатных станах (рис. 5), которую применяют для получения листов и лент в горячем и холодном состояниях, а также производства профилей и проволоки.



1 – рабочие валки; 2 – прокатываемая полоса;
3 – очаг пластической деформации; 4 – опорные валки

Рис. 5. Схема продольной прокатки на двухвалковом (а) и четырехвалковом (б) стане

Пластическую деформацию, при которой заготовка из металла деформируется вращающимися валками, называют прокаткой. Заготовка 2 (рис. 5) под действием сил трения T втягивается в зазор между валками 1, деформируется ими и приобретает заданную форму и размеры. Металл деформируется между валками в зоне 3, которая называется очагом пластической деформации.

При прокатке сечение заготовки уменьшается, ширина и длина увеличиваются (рис. 6). Форма сечения получаемой продукции зависит от формы вал-

ков. Например, на гладких валках прокатывают листы, полосы и ленту. В так называемых калиброванных валках катают круг, квадрат, шестигранник, рельсы, уголки и т. п. Для производства труб, шаров, шестерен и других профилей используют специальные прокатные станы, в которых применяется более двух валков; форма валков может быть конической, винтообразной и др.

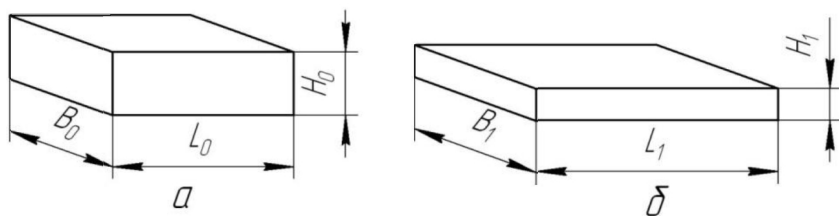


Рис. 6. Размеры заготовки до (а) и после (б) прокатки

Основным законом обработки металлов давлением является **закон постоянства объема**, согласно которому объем металла после деформации может быть принят равным объему его до деформации. Для тела, имеющего форму прямоугольного параллелепипеда (плита или лист при прокатке), уравнение постоянства объема обрабатываемого металла дает следующую связь между размерами тела по трем осям до и после деформации (рис. 6):

$$H_0 B_0 L_0 = H_1 B_1 L_1,$$

откуда:

$$\frac{H_1}{H_0} \cdot \frac{B_1}{B_0} \cdot \frac{L_1}{L_0} = 1 \quad (1)$$

где H_0 , B_0 , L_0 , H_1 , B_1 , L_1 – соответственно толщина, ширина и длина заготовки до и после прокатки.

Деформацию металла при прокатке количественно можно выразить через коэффициенты деформации или через абсолютные и относительные деформации (табл. 1).

Приведенные выше характеристики деформирования связаны между со-

Табл. 1. Характеристики деформирования при прокатке

Характеристика	Коэффициент деформации	Абсолютная деформация, мм	Относительная деформация, %
Обжатие	$\mu = \frac{H_1}{H_0}$	$\Delta H = H_0 - H_1$	$\varepsilon_H = \frac{H_0 - H_1}{H_0} \cdot 100\%$
Уширение	$\beta = \frac{B_1}{B_0}$	$\Delta B = B_1 - B_0$	$\varepsilon_B = \frac{B_1 - B_0}{B_0} \cdot 100\%$

Вытяжка	$\lambda = \frac{L_1}{L_0}$	$\Delta L = L_1 - L_0$	$\varepsilon_L = \frac{L_1 - L_0}{L_0} \cdot 100\%$
---------	-----------------------------	------------------------	---

бой следующими соотношениями:

1) обжатие

$$\varepsilon_H = 1 - \mu = \frac{\Delta H}{H_0}, \quad (2)$$

2) уширение

$$\varepsilon_B = \beta - 1 = \frac{\Delta B}{B_0}, \quad (3)$$

3) вытяжка

$$\varepsilon_L = \lambda - 1 = \frac{\Delta L}{L_0} \quad (4)$$

Таким образом, с учетом коэффициентов деформации уравнение постоянства объема (1) примет вид:

$$\mu \cdot \beta \cdot \lambda = 1 \quad (5)$$

На практике для характеристики малых деформаций (до 15%) широко используют приближенную запись уравнения постоянства объема через относительные деформации (с учетом знака деформации):

$$\varepsilon_H + \varepsilon_B + \varepsilon_L \approx 0 \quad (6)$$

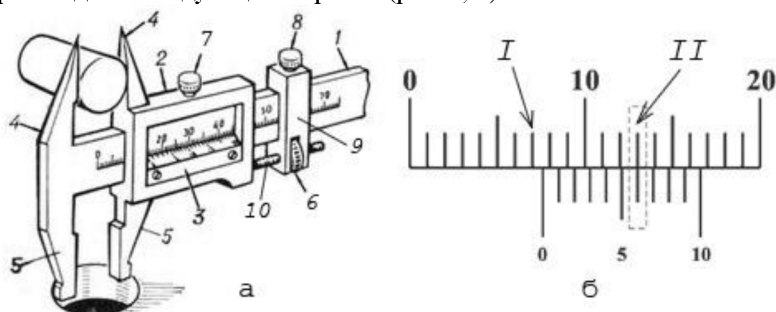
Правила измерения штангенциркулем

Штангенциркуль – универсальный инструмент, предназначенный для измерений с высокой точностью (0,1 мм; 0,05 мм; 0,02 мм): наружных и внутренних размеров, а также глубин отверстий.

Один из вариантов исполнения штангенциркуля изображен на рис. 7, а. Подвижная рамка его состоит из двух частей – собственно рамки 2 с губками 4 и 5 и добавочного ползунка 9 (на некоторых моделях отсутствует), при помощи которого производится точная установка штангенциркуля. Наружные размеры измеряются при помощи обеих пар губок. Верхние губки 4 используются для разметочных работ. Для измерения внутренних размеров используются нижние губки 5.

Освободив винты 7 и 8, закрепляющие подвижную рамку и ползунок на штанге штангенциркуля, грубо устанавливают штангенциркуль на требуемый размер; рамка 2 и ползунок 9 перемещаются при этом вместе. Затем ползунок 9 закрепляют винтом 8 и при помощи микрометрического винта 10, вращая накатанную гайку 11, точно устанавливают штангенциркуль. Закрепив винт 7, читают полученный размер.

Порядок отсчёта показаний штангенциркуля по шкалам штанги и нониуса производится следующим образом (рис. 7, б):



1 – штанга; 2 – рамка; 3 – нониус; 4 – верхние губки; 5 – нижние губки;
6 – гайка; 7, 8 – стопорные винты; 9 – ползунок; 10 – микрометрическая винт

Рис. 7. Измерение нониусным штангенциркулем

1) читают число целых миллиметров (на шкалу при измерении надо смотреть под прямым углом), для этого находят на шкале штанги штрих, ближайший слева к нулевому штриху нониуса, и запоминают его числовое значение;

2) читают доли миллиметра, для этого на шкале нониуса находят штрих, совпадающий со штрихом шкалы штанги, и умножают его порядковый номер на цену деления нониуса (0,1 мм; 0,05 мм; 0,02 мм);

3) подсчитывают полную величину показания штангенциркуля, для этого складывают число целых миллиметров и долей миллиметра.

Таким образом, размер, зафиксированный на рис. 7, б, составит (при цене деления нониуса равном 0,1 мм): $7 + 6 \cdot 0,1 = 7,6$ мм.

Оборудование, инструменты, материалы

1. Лабораторный реверсивный прокатный стан 300.
2. Измерительный инструмент – штангенцикуль.
3. Заготовка – алюминиевая пластина с размерами $2 \times 100 \times 150$ мм.

Порядок выполнения работы

1. Зарисуйте схему прокатки листов (рис. 5, а). Запишите формулы для определения деформаций (табл. 1) и уравнения постоянства объема (1), (5), (6).

2. Замерьте начальные толщину, ширину и длину заготовки штангенциркулем.

3. Выполните прокатку заготовки с относительным обжатием $\varepsilon_H = 20\%$, предварительно определив величину абсолютного обжатия ΔH

по формуле (2).

4. Замерьте конечные размеры прокатанной заготовки.

Табл. 2. Результаты расчетов и измерений

Параметр		Значение
Начальные размеры, мм	H_0	
	B_0	
	L_0	
Конечные размеры, мм	H	
	B	
	L	
Коэффициент деформации	μ	
	β	
	λ	
Абсолютная деформация, мм	ΔH	
	ΔB	
	ΔL	
Относительная деформация, %	ε_H	
	ε_B	
	ε_L	
Закон постоянства объема	$\mu \cdot \beta \cdot \lambda$	
	$\varepsilon_H + \varepsilon_B + \varepsilon_L$	

5. Вычислите величины деформаций по формулам таблицы 1 и проверьте выполнение условия постоянства объема по формулам (5) и (6).
6. Результаты измерений и расчетов занесите в табл. 2.
7. Сформулируйте выводы по работе.

Контрольные вопросы

1. Дайте определение прокатки.
2. Перечислите показатели деформации при прокатке.
3. Сортамент металлоизделий, получаемых прокаткой.
4. Сформулируйте закон постоянства объема.
5. Как связаны показатели деформации?
6. Перечислите порядок отсчёта показаний штангенциркуля.

Лабораторная работа №2 «Изучение условий захвата металла валками при прокатке»

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.

Взаимодействие валков и полосы в начальный момент прокатки

Анализ сил, действующих в начале прокатки между валками и полосой (рис. 8), показывает, что со стороны валков на передний конец слитка (полосы) действуют радиальные силы N (нормальные силы) и касательные силы T (силы трения). Также на заготовку в начальный момент прокатки могут действовать вталкивающая сила Q , возникающая от действия подающего рольганга, и инерционная (выталкивающая) сила U , возникающая от действия веса заготовки и препятствующая захвату металла валками.

Процесс прокатки обеспечивается наличием сил трения T , поэтому в процессе прокатки силы трения являются необходимыми (активные силы) и без них процесс прокатки невозможен.

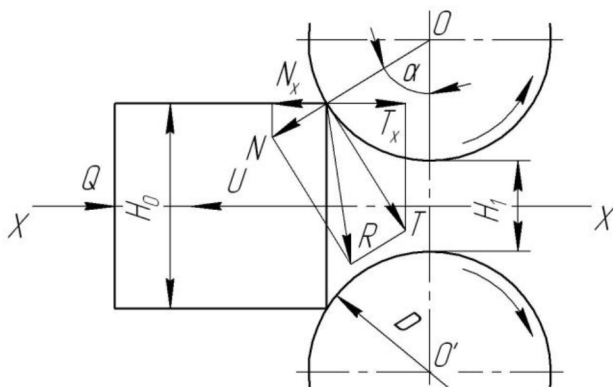


Рис. 8. Силы, действующие на металл при захвате его валками

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, ко-

торый 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 8 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.

Втягивающую силу T_x и выталкивающую силу N_x можно определить из геометрических соотношений (рис. 8):

$$\begin{aligned} T_x &= T \cos \alpha \\ N_x &= N \sin \alpha \end{aligned} \quad (7)$$

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

$$T = fN, \quad (8)$$

где f – коэффициент трения.

Для осуществления захвата металла валками и начала прокатки необходимо, чтобы $T_x > N_x$. Тогда, с учетом (7) и (8) условие захвата металла валками запишется следующим образом:

$$\operatorname{tg} \alpha < f \quad (9)$$

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:

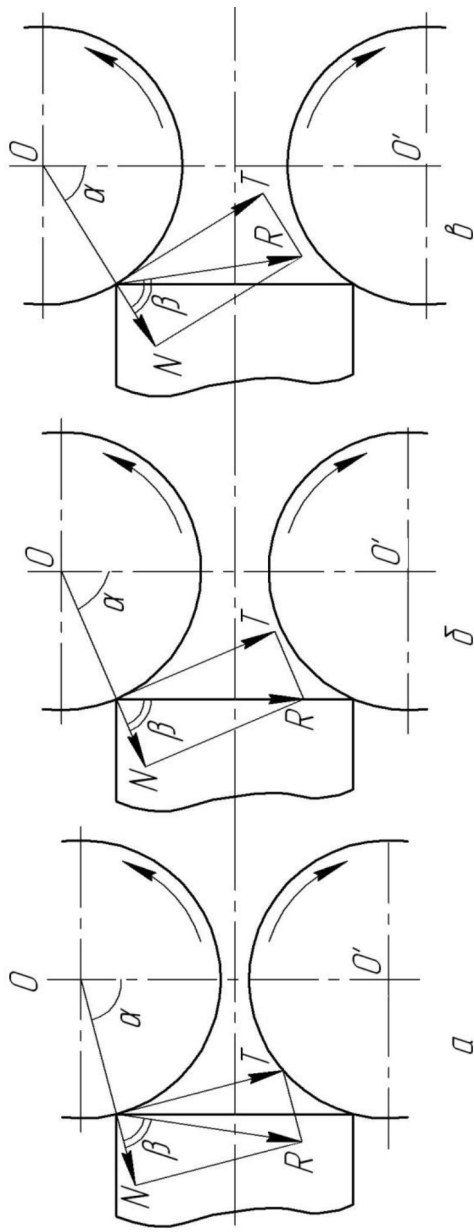
$$f = \operatorname{tg} \beta, \quad (10)$$

где β – угол трения. Угол трения β образован направлением нормальной силы N и силы R , являющейся результирующей (суммарной) для сил N и T (рис. 8).

Из формул (9) и (10) следует, что условие захвата металла валками в начальный момент прокатки можно записать в виде:

$$\alpha < \beta, \quad (11)$$

т.е. захват металла валками в начальный момент прокатки произойдет при



а – захват невозможен ($\alpha < \beta$); б – состояние равновесия ($\alpha = \beta$); в – захват осуществляется ($\alpha > \beta$)

Рис. 9. Соотношение между углами трения и захвата в начальный момент прокатки

условии, когда угол захвата будет меньше угла трения.

На рис. 9 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 (рис. 8):

$$\alpha = \arccos\left(1 - \frac{\Delta H}{2R}\right), \quad (12)$$

где R – радиус рабочих валков (на прокатном стане 300 установлены рабочие валки диаметром 75 мм).

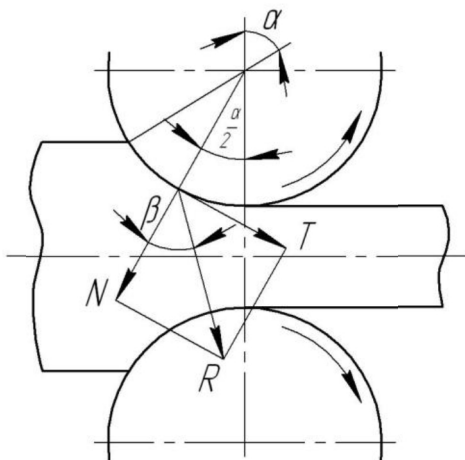


Рис. 10. Схема сил при установившейся прокатке

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. $\alpha/2$ (рис. 10). Тогда условие захвата приближенно характеризуется неравенством:

$$\alpha < 2\beta \quad (13)$$

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, т.е. минуя условие (5), может быть произведен либо вдавливанием слитка в валки внешней силой, либо задачей в валки конусного слитка, либо дополнительным сближением валков после естественного захвата.

Влияние технологической смазки на основные показатели прокатки

Холодную прокатку стали и цветных металлов ведут с применением смазки валков и прокатываемой полосы. Смазка образует разделяющий слой между металлом и валками, охлаждает валки, предупреждает налипание на них металла. Смазка при холодной прокатке снижает коэффициент трения между валками и прокатываемым металлом, благодаря чему уменьшаются давление металла на валки, упругая деформация валков и других деталей стана, расход энергии на прокатку, износ валков. Все это оказывает влияние на точность размеров получаемой полосы и качество ее поверхности.

Определение угла захвата и коэффициента трения при прокатке

Максимальное значение угла захвата α_{\max} соответствует моменту, когда происходит буксование валков относительно полосы и последующее втягивание металла валками в зону деформации.

Методика определения α_{\max} состоит в определении межвалкового зазора H_1 , при котором происходит захват полосы толщиной H_0 . Практически для образца толщиной H_0 необходимо подобрать такую величину раствора валков H_1 , при котором начинается «подергивание» образца, т.е. реализуется попытка движения образца в направлении прокатки под действием сил трения. Этот момент соответствует буксованию валков. Величина α_{\max} рассчитывается по формуле (12).

Коэффициент трения определяется из условия равенства угла захвата углу трения при буксовании валков, т.е. в начальный момент прокатки:

$$f = \operatorname{tg} \alpha_{\max} \quad (14)$$

Оборудование, инструменты, материалы

1. Лабораторный реверсивный прокатный стан 300.
2. Измерительный инструмент – штангенциркуль.
3. Две алюминиевые пластины с размерами $4 \times 100 \times 150$ мм.
4. Бензин, ветошь.
5. Машинное масло, кисточка.
6. Напильник.

Порядок выполнения работы

Исследуются два варианта прокатки: валки и образец сухие (обезжирены бензином); валки и образец смазаны машинным маслом.

Последовательность операций при выполнении 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 образца H_1 после прокатки.
9. Опытные данные занести в табл. 3.
10. Повторить пункты 3-9 три раза для одного образца, последовательно обжимая его в каждом проходе.

Табл. 3. Экспериментальные и расчетные величины

Вариант прокатки	Опыт	H_0 , мм	H_1 , мм	ΔH , мм	ε_H	α_{\max}^i	$\bar{\alpha}_{\max}$	f
Валки сухие	1							
	2							
	3							
Валки смазаны машинным маслом	1							
	2							
	3							

Порядок обработки результатов измерений

1. Используя результаты измерений обжатий, занесенные в табл. 3, вычислить величину относительного обжатия ε_H для каждого варианта прокатки.

2. Рассчитать величины угла захвата α_{\max}^i по формуле (12) и среднее арифметическое значение угла захвата $\bar{\alpha}_{\max}$.

3. С учетом среднего значения угла захвата $\bar{\alpha}_{\max}$ по условию (14) оп-

ределить коэффициент трения f .

4. Сделать выводы.

Содержание отчета

1. Схема действия сил при прокатке (рис. 8).
2. Условие захвата металла валками (9), соотношение угла захвата и угла трения (11), (13).
3. Расчетные формулы (12) и (14).
4. Протокол обработки результатов эксперимента (табл. 3).
5. Выводы о наилучших условиях захвата металла валками в начальный момент прокатки.

Контрольные вопросы

1. Какие силы действуют на металл в начальный момент прокатки?
2. Какой угол называется углом захвата? Углом трения?
3. Что такое простой процесс прокатки?
4. Какое соотношение контактных сил обеспечивает захват металла валками и почему?
5. Как выражается условие захвата через коэффициент и угол трения?
6. Каково соотношение между углами трения и захвата в начальный момент прокатки? В случае установившегося процесса прокатки?
7. Перечислите влияние технологической смазки на процесс прокатки.
8. В чем сущность практического определения угла захвата и коэффициента трения?
9. Какие возможны пути повышения величины угла захвата?
10. Можно ли захватить металл валками, минуя условие (11)? Каким образом?

Лабораторная работа №3 «Изучение поперечной деформации при прокатке»

Цель работы: закрепление знаний по изучению процесса деформирования металла при прокатке путем практического изучения влияния ширины и степени обжатия на величину поперечной деформации; получение навыков работы на лабораторном оборудовании.

Уширение при прокатке

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 (рис. 11), 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.

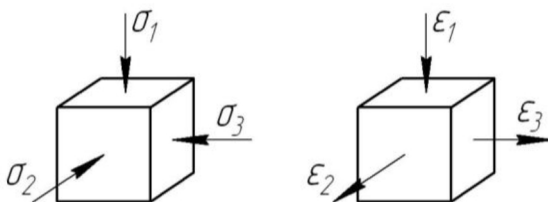


Рис. 11. Напряженно-деформированное состояние металла при прокатке

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 попереч-

ных 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 характеризуется показателями, приведенными в табл. 1. Величину уширения приближенно можно оценить по следующим теоретическим формулам:

- 1) по формуле А.И. Целикова

$$\Delta B = \left(l + \frac{\Delta H}{2f} \right) \left[2 \left(\frac{H_1}{\Delta H} \right)^2 \ln \frac{H_0}{H_1} - 2 \frac{H_1}{\Delta H} + 1 \right], \quad (15)$$

- 2) по формуле Б.П. Бахтинова

$$\Delta B = 0,575 \frac{\Delta H}{H_0} \left(l - \frac{\Delta H}{2f} \right), \quad (16)$$

- 3) по формуле Экеунда

$$\Delta B = -A - B_0 + \sqrt{A^2 + B_0^2 + 4ml} \quad 3H_0 - H_1, \quad (17)$$

$$A_i = 2m_i \quad H_{0i} + H_{1i} \quad \frac{l_i}{B_{0i}}, \quad m_i = \frac{1,6fl_i - 1,2\Delta H_i}{H_{0i} + H_{1i}},$$

где l – горизонтальная проекция дуги захвата;

$$l = \sqrt{R\Delta H} \quad (18)$$

Формула (15) справедлива для высоких и узких полос, а (16) – для широких и низких. Широкие полосы характеризуются отношением $B/L > 4$, узкие полосы – отношением $B/L < 1$, где B – средняя ширина полосы:

$$B = \frac{B_0 + B_1}{2} \quad (19)$$

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 попереч-

ном 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.

Оборудование, инструменты, материалы

1. Лабораторный реверсивный прокатный стан 300.
2. Измерительный инструмент – штангенциркуль.
3. Девять алюминиевых образцов: шириной 60, 20 и 10 мм (по три каждой ширины), все толщиной 4 мм и длиной 100 мм.
4. Чертилка.

Порядок выполнения работы

Исследуются три варианта прокатки с различной степенью обжатия по толщине: 15%, 30% и 50%.

Последовательность операций при выполнении работы:

1. Разметить поверхность образцов по схеме, приведенной на рис. 12.
2. Измерить толщину образцов H_0 и в трех местах ширину B'_0 , B''_0 и B'''_0 (рис. 12).
3. В соответствии с вариантом задания установить величину межвалкового зазора.
4. Произвести прокатку образцов.

Для того чтобы все образцы получили одинаковое обжатие, следует после прокатки более широкого образца слегка ослабить нажимные винты, т.е. немного приподнять верхний валок; при переходе же с более узкого на более широкий образец, наоборот, валки следует поджимать.

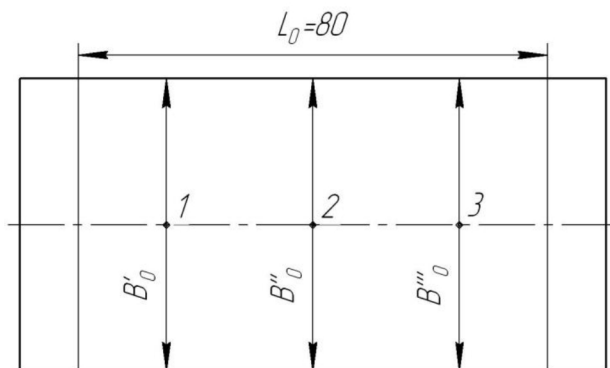


Рис. 12. Разметка образца для исследования упрочнения

Во избежание искажения результатов опытов образцы следует задавать в валки строго перпендикулярно, для чего обязательно пользуются проводками.

5. Измерить у прокатанных образцов их толщину H_1 , длину L_2 и ширину в трех местах – B_1' , B_2'' и B_3''' .

6. Опытные данные занести в табл. 4.

Порядок обработки результатов измерений

1. Используя результаты измерений обжатий, занесенные в табл. 4, вычислить величину относительного обжатия ε_H и вытяжку λ для каждого варианта прокатки.

2. Рассчитать среднее арифметическое значение ширины образцов до \bar{B}_0 и после \bar{B}_1 прокатки:

3. Рассчитать величину уширения по формулам таблицы 1.

4. Рассчитать теоретическую величину уширения по формулам (15) и (16).

При расчете по формулам (15) и (16) взять коэффициент трения f металла о валки из данных лабораторной работы №2 (вариант прокатки при смазанных машинным маслом валках).

5. Построить графики зависимостей $\lambda = f B_0$ и $\beta = f B_0$ при разной степени обжатия ε_H на одном координатном поле.

6. Построить графики зависимостей $\Delta B = f \varepsilon_H$ и $\Delta B_m = f \varepsilon_H$ при разной начальной ширине B_0 полосы.

7. Сделать вывод о влиянии ширины и обжатия на уширение и о возможности практического применения формул (15) и (16).

Содержание отчета

1. Схема напряженно-деформированного состояния при прокатке (рис. 11).
2. Расчетные формулы (15) и (16).
3. Протокол обработки результатов эксперимента (табл. 4).
4. Графики изменения уширения в зависимости от величины обжатия и ширины.
5. Выводы.

Контрольные вопросы

1. Что такое уширение при прокатке?
2. Какие факторы оказывают влияние на величину уширения?
3. Какие показатели характеризуют уширение?
4. Написать расчетные формулы для определения уширения.
5. Какой вид принимают боковые грани полосы при прокатке?

Почему?

6. Какая схема напряженно-деформированного состояния наблюдается при прокатке?

7. В каком случае уширение будет меньше: при большем или меньшем числе проходов при одинаковой величине суммарного обжатия и при прочих равных условиях?

Лабораторная работа №4 «Изучение реверсивного стана холодной прокатки 300»

Цель работы: ознакомление с конструкцией одноклетьевого прокатного стана для прокатки листов, порядком работы отдельных его узлов и механизмов; развитие навыков расчета основных деталей стана на прочность; составление технической документации.

Общие сведения

Прокатным станом называется комплекс машин для деформирования металла во вращающихся валках и выполнения вспомогательных операций: транспортировки заготовки к валкам, уборки после прокатки, резки, правки и т.д. Оборудование для деформации металлов (рабочая клеть и привод валков) называют основным.

Лабораторный одноклетьевого четырехвалковый реверсивный стан холодной прокатки 300 предназначен для прокатки полос из алюминия и его сплавов (рис. 13). Продукцией стана являются полосы толщиной до 0,1 мм при исходной толщине заготовок до 7 мм.

Основным параметром листовых станов является длина бочки валков, которая определяет максимальную ширину прокатываемых на стане листов или полосы. Например, "стан 300" означает, что длина бочки валков равна 300 мм и на них можно прокатывать листы и полосу шириной около 200 мм.

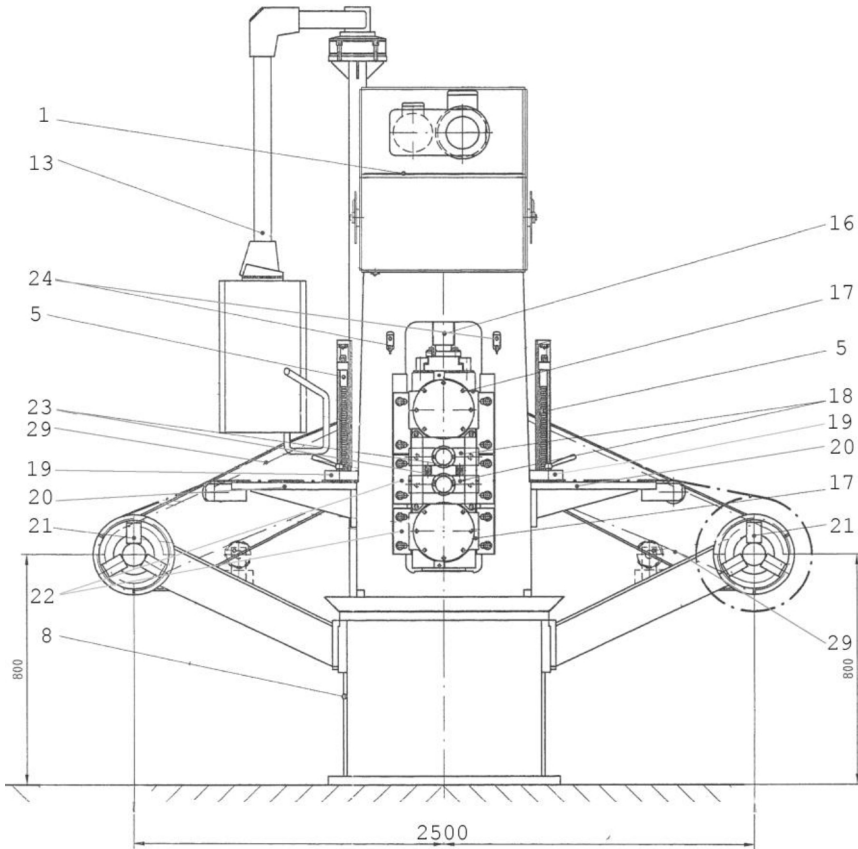
Привод рабочей клетки 2 (рис. 13) стана 300 осуществляется от электродвигателя 25 мощностью 50 кВт, развивающего крутящий момент в 390 Н·м. Электродвигатель постоянного тока позволяет регулировать скорость прокатки от 0 до 20 м/мин и изменять направление прокатки.

Шестеренная клеть 7 предназначена для разделения крутящегося момента двигателя между валками. Она представляет собой одноступенчатый редуктор с шевронными зубьями с передаточным отношением $i = 1$.

В связи с малым диаметром рабочих валков и сравнительно большими крутящими моментами, передаваемыми валками, приводными являются опорные валки. Шпиндели 6 соединяют шестеренные валки с опорными и передают крутящий момент и вращение при несоосности шестеренных и опорных валков до 24°, которая возникает при настройке (регулировании) стана. В конструкции стана 300 применяются универсальные шпиндели с шарнирами на подшипниках качения и с компенсацией длины, устроенные по принципу шарнира Гука.

Рабочая клеть 2, в которой осуществляется пластическая деформация металла, представляет собой две массивные стальные литые станины 4, установленные на основании 8, закрепленном на фундаменте анкерными бол-

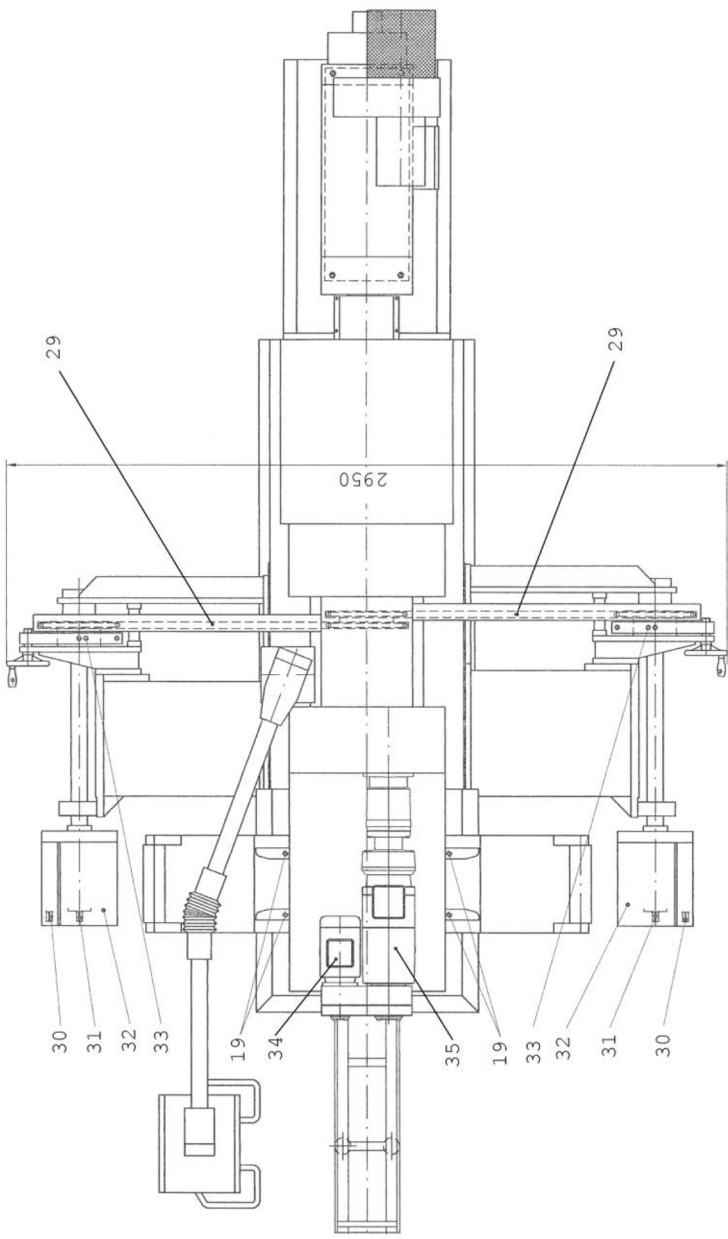
тами 9.



вид сбоку

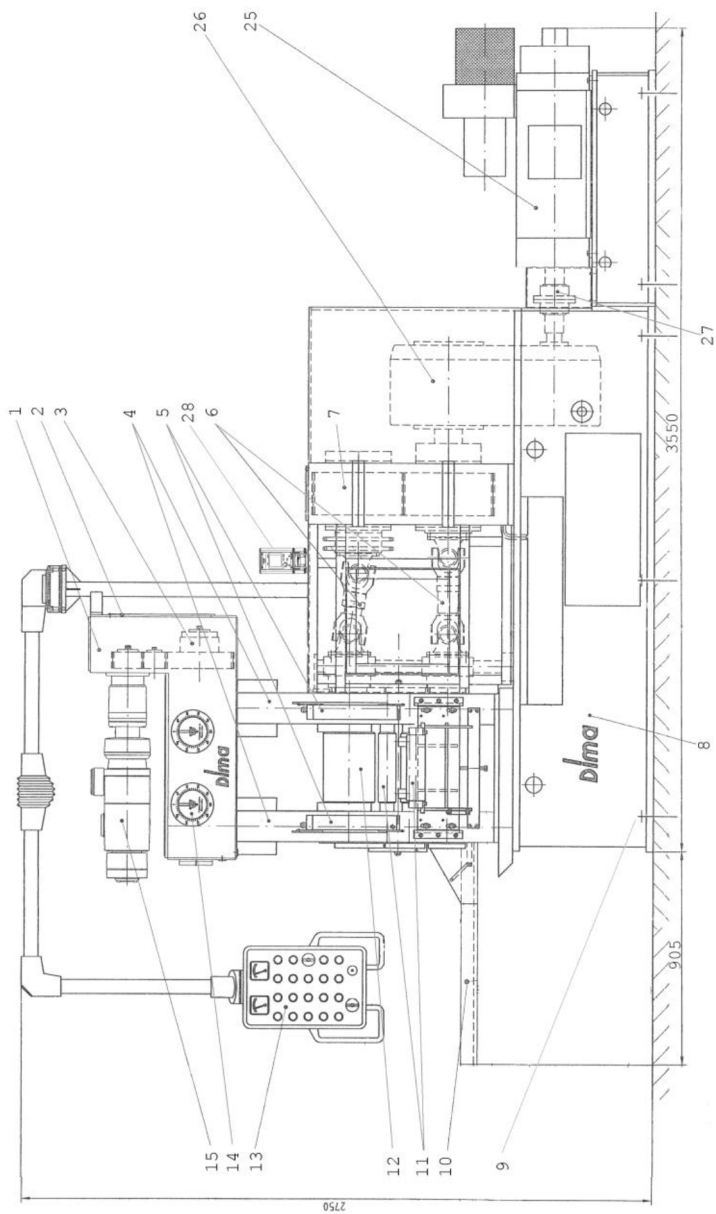
1 – нажимное устройство; 2 – рабочая клеть; 3 – электромагнитная зубчатая муфта; 4 – станина; 5 – световые затворы; 6 – шпиндели; 7 – шестеренная клеть; 8 – основание; 9 – анкерные болты; 10 – перевалочное устройство; 11 – рабочие валки; 12 – опорные валки; 13 – пульт управления; 14 – шкальные диски; 15 – привод тонкого хода; 16 – нажимной винт; 17 – подушка опорного валка; 18 – подушка рабочего валка; 19 – направляющие линейки; 20 – стол; 21 – барабан моталки; 22 – планки; 23 – уравновешивающее устройство (пружины); 24 – пьезоэлектрические датчики; 25 – электродвигатель постоянного тока; 26 – редуктор; 27 – эластичная муфта; 28 – прибор замера усилия прокатки; 29 – цепная передача; 30 – эксцентриковая клемма; 31 - клиновой механизм; 32 – барабан; 33 – муфта свободного хода; 34 – двигатель тонкого хода; 35 – главный двигатель

Рис. 13. Главная линия стана холодной прокатки 300 (см. также с. 42 и 43)



вид сверху

Рис. 13. Продолжение



главный вид

Рис. 13. Окончание

При прокатке листов для снижения усилий, действующих на валки, и уменьшения размеров клетки и мощности привода диаметр рабочих валков уменьшают. Чтобы обеспечить минимальный прогиб валков и повысить жесткость стана, дополнительно устанавливают опорные валки. Рабочие валки 11 (Ø 75 мм) стана 300 передают усилие прокатки на опорные валки 12 (Ø 220 мм). Максимальное давление металла на валки – 560 кН.

Подшипники рабочих и опорных валков размещены в подушках 18 и 17 соответственно. Подушки располагают в окне станины 4, где они могут перемещаться вместе с валками вверх и вниз вдоль стоек станины.

Зазор между валками в вертикальной плоскости не остается постоянным, а изменяется в зависимости от степени деформации прокатываемого металла. На листовых станах положение нижнего валка с подушками в рабочей клетке постоянно. Поэтому необходимое расположение (раствор) валков регулируют перемещением в вертикальной плоскости верхнего валка вместе с подушками. С этой целью рабочая клетка оборудована нажимным и уравновешивающим устройством.

Основное назначение нажимного устройства – это регулирование раствора между валками в вертикальной плоскости и компенсация износа. Нажимное устройство 1 состоит из гайки, закрепленной в станине 4, и нажимного винта 16, упирающегося в подушку 17 верхнего опорного валка 12. Нажимной механизм приводится от электродвигателя 15, установленного на станине через червячный редуктор.

С целью получения более точных размеров проката нажимное устройство оборудовано приводом тонкого хода 15, который представляет собой комбинацию двух тормозных электродвигателей и промежуточного редуктора. Главный двигатель 35 позволяет производить быструю до 40 мм/мин установку валков, двигатель тонкого хода 34 – медленную до 1,5 мм/мин.

Устройство для уравновешивания валков выбирает зазоры, возникающие в сопряжениях деталей, которые воспринимают усилие прокатки. Уравновешивание верхнего рабочего валка осуществляется от четырех пружин 23, расположенных в подушках 18 рабочих валков. Фиксация подушек рабочего и опорного валков в осевом направлении производится планками 22.

Подача карточек в валки стана 300 производится вручную со столов 20 стана. Когда длина прокатываемой полосы превышает длину стола, используются неприводные роляганги, установленные за столами прессы.

Роляганг служит для транспортировки прокатываемого металла к рабочей клетке, подачи в валки, приема из валков и транспортировки от одной клетки к другой. Роляганг представляет собой систему расположенных параллельно друг к другу в горизонтальной плоскости цилиндрических стальных роликов. Ролики могут иметь индивидуальный привод либо групповой.

Для правильного направления металла в валки и выхода из валков по

обеим сторонам рабочей клетки устанавливают проводки 19. Проводки, расположенные с передней стороны стана (со стороны подачи металла), называются вводными, а находящиеся с задней стороны (со стороны выхода металла из валков) – выводными.

Стан 300 оборудован двумя барабанными моталками 21, установленными с обеих сторон клетки. Крутящий момент на барабаны 32 моталок передается от привода верхнего опорного валка цепной передачей 29 через муфту свободного хода 33 (обгонную муфту). Трехсегментный барабан 32 с клиновым механизмом разжатия 31 позволяет устанавливать рулоны с внутренним диаметром 260-280 мм и массой до 80 кг. Свободный конец полосы фиксируется на моталке в зажимном шлице эксцентриковой клеммой 30.

Прокатка исходной заготовки в виде рулона до требуемой толщины осуществляется в несколько проходов путем реверсирования валков рабочей клетки. При прокатке в направлении слева направо левая моталка исполняет роль разматывателя, а правая – роль моталки; при прокатке в обратном направлении функции моталок меняются.

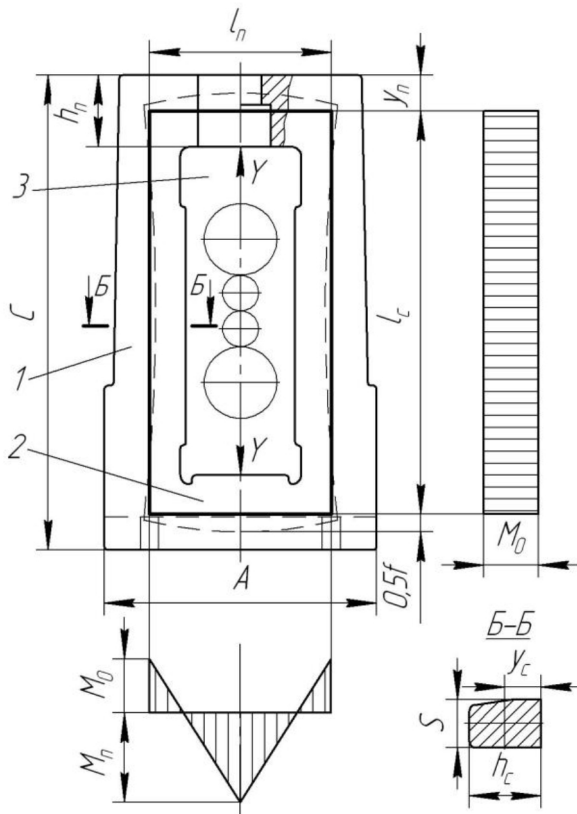
На выходе из клетки размещено устройство для измерения толщины полосы – контактный толщиномер. Контроль усилия прокатки производится по растяжению стоек станины пьезоэлектрическими датчиками 24, установленными на каждой стойке. Сигнал со всех стоек усредняется и обрабатывается измерительным прибором 28.

По соображениям безопасности на обеих сторонах прокатной клетки установлены предохранительные световые затворы 5, которые при прерывании луча сразу выключают стан. При этом каждый из затворов активируется в зависимости от направления прокатки: всегда активен затвор со стороны подачи металла.

Определение напряжений и деформаций в станине закрытого типа

Станины рабочей клетки как наиболее ответственные детали прокатного стана должны обладать достаточной прочностью и жесткостью. От их прочности и жесткости во многом зависят надежность работы стана, его производительность и точность прокатки.

Станина представляет собой литую массивную жесткую раму (рис. 14), в середине которой выполнено окно 3 для установки и переделки валков. Внизу станина снабжена приливами с отверстиями под болты для установки на фундамент. Верхнюю и нижнюю части 2 станины называют поперечинами, а боковые части 1 – стойками. Рассмотренная конструкция станины относится к станинам закрытого типа. На практике иногда используют станины открытого типа, имеющие меньшую жесткость, но более дешевые в изготовлении и обеспечивающие быструю смену валков при снятой крышке (верхней поперечине).



1 – стойка; 2 – поперечина; 3 – окно

Рис. 14. Расчетная прямоугольная рама и эпюра изгибающих моментов станины закрытого типа прокатного стана 300

Необходимые прочность и жесткость станины рабочей клетки прокатного стана обеспечивают соответствующим выбором ее основных размеров и расчетом на прочность и деформацию. Станина ввиду сложности конфигурации не поддается точному расчету. Тем не менее, расчет станины приближенным методом все же позволяет судить о правильности выбора ее размеров при конструировании.

Для упрощения расчета станину закрытого типа при относительно небольших радиусах закругления ее углов на стыке стоек и поперечин представляют в виде жесткой прямоугольной рамы (рис. 14).

Размеры расчетной рамы устанавливают на основании геометрических размеров станины, по нейтральным линиям, проведенным через центры тя-

жести сечений стоек и поперечин. Центр тяжести прямоугольного сечения определяют так:

$$\begin{aligned} y_n &= h_n/2 \\ x_c &= h_c/2 \end{aligned} \quad (20)$$

где h_n и h_c – высота поперечины и ширина стойки.

Полученные данные позволяют определить длину поперечин l_n и стоек l_c станины по нейтральной линии (рис. 14).

На станину рабочей клетки стана в общем случае могут действовать как вертикальные, так и горизонтальные усилия. Однако станину в большинстве случаев рассчитывают на прочность на вертикальное усилие, так как горизонтальные усилия, возникающие при захвате раската валками или при прокатке на некоторых станах с натяжением, незначительны по сравнению с вертикальным и ими обычно пренебрегают.

Максимальное вертикальное усилие Y , действующее на станину рабочей клетки стана, определяют по максимальному возможному технологическому усилию прокатки на данном стане (листопрокатный стан):

$$Y = P_{\max}/2, \quad (21)$$

где P_{\max} – максимальное возможное усилие прокатки.

Под действием силы Y , приложенной к поперечинам по вертикальной оси симметрии станины, в углах упругой рамы возникают статически неопределимые моменты M_0 , которые будут стремиться изогнуть стойки внутрь окна станины, а поперечины против действия сил Y .

Момент, изгибающий стойки станины, определяют следующим образом:

$$M_0 = \frac{Yl_n}{8} \cdot \frac{1}{1 + \frac{l_c}{l_n} \cdot \frac{J_n}{J_c}},$$

где J_n и J_c – моменты инерции сечений поперечин и стоек;

$$J_n = \frac{Sh_n^3}{12} \text{ и } J_c = \frac{Sh_c^3}{12},$$

S – толщина станины.

Каждая стойка станины изгибается моментом M_0 и растягивается силой Y , поэтому суммарное напряжение растяжения на внутреннем волокне стойки (со стороны окна станины):

$$\sigma_c = \frac{Y}{2F_c} + \frac{M_0}{W_c} \leq \sigma, \quad (22)$$

где F_c – площадь поперечного сечения стойки;

$$F_c = Sh_c,$$

W_c – момент сопротивления сечения стойки.

$$W_c = \frac{Sh_c^2}{6},$$

Станины обычно выполняют с большим запасом прочности ($K_s = 10 \div 15$). Напряжения, возникающие в отдельных сечениях стоек и поперечин станин, не должны превосходить допускаемые σ , которые для станин, выполненных из стального литья с $\sigma_b = 500 \div 600$ МПа, рекомендуют принимать при $K_s = 10$ в следующих пределах: $\sigma = 50 \div 60$ МПа.

Каждая поперечина подвержена только изгибу от действия силы Y и изгибающего момента M_0 . Максимальный изгибающий момент посередине поперечины:

$$M_n = \frac{Yl_n}{4} - M_0,$$

Максимальное напряжение посередине поперечины равно:

$$\sigma_n = \frac{M_n}{W_n} \leq \sigma, \quad (23)$$

где W_n – момент сопротивления сечения поперечины.

$$W_n = \frac{Sh_n^2}{6}$$

Для тонколистовых станов холодной прокатки имеет значение не только прочность станин, но и их жесткость, т.е. величина их деформации при прокатке. Общая деформация f_m станины в вертикальном направлении (рис. 14) складывается из деформации поперечин f_2 и удлинения стоек f_1 . При расчете деформации поперечины учитывается также и деформация от действия поперечных сил f_3 , т.е.:

$$f_m = f_1 + f_2 + f_3 < f, \quad (24)$$

При этом:

1) деформация растяжения стойки станины

$$f_1 = \frac{Yl_c}{2EF_c},$$

где E – модуль упругости материала станины ($E = 2 \cdot 10^5$ МПа);

2) деформация поперечин от действия изгибающих моментов

$$f_2 = \frac{l_n}{4EJ_n} \left(\frac{Yl_n}{6} - M_0 \right),$$

3) деформация поперечин от действия поперечных сил

$$f_3 = k \frac{Yl_n}{2GF_n},$$

где G – модуль сдвига материала станины ($G = 8,2 \cdot 10^4$ МПа);

k – коэффициент формы сечения (для прямоугольного сечения $k = 1,2$).

Экспериментальное определение упругой деформации стана

Если установить валки с зазором H_1 , то при прокатке это расстояние, а соответственно и толщина прокатанной полосы, увеличится до H_1' благодаря некоторой упругой деформации стана (упругой деформацией полосы, вследствие ее малости, можно пренебречь). Таким образом упругая деформация стана будет равна:

$$f_3 = H_1' - H_1 \quad (25)$$

Для исследования упругой деформации стана f_3 необходимо изменять давление на валки, что в данной работе осуществляется прокаткой полос с различными обжатиями по толщине.

Оборудование, инструменты, материалы

1. Лабораторный реверсивный прокатный стан 300.
2. Измерительный инструмент – штангенциркуль.
3. Три алюминиевых образца с размерами $2 \times 100 \times 150$ мм.

Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с действующим лабораторным одноклетьевым прокатным станом 300 и его узлами.
2. На основании описания прокатного стана 300 заполнить табл. основных технических характеристик прокатного стана (табл. 5).
3. Определить длину поперечин l_n и стоек l_c станины по нейтральной линии (рис. 14) с учетом формулы (20).
4. Штангенциркулем измерить исходную толщину H_0 образцов для прокатки.
5. Подготовленные алюминиевые образцы прокатать в один проход с обжатием ε_H : 10%, 25% и 50%.

Табл. 5. Основные технические характеристики прокатного стана 300

№	Характеристика	Обозначение	Значение
1	Диаметр рабочих валков, мм	D_p	
2	Диаметр опорных валков, мм	$D_{оп}$	
3	Длина бочки валков, мм	B_{δ}	
4	Габаритные размеры станины: толщина, мм ширина, мм высота, мм	S A C	
5	Ширина стойки станины, мм	h_c	
6	Высота поперечины станины, мм	h_n	
7	Длина стойки станины, мм	l_c	
8	Длина поперечины станины, мм	l_n	
9	Габаритные размеры стана, мм: длина, мм ширина, мм высота, мм	$L_{см}$ $B_{см}$ $H_{см}$	
10	Максимальная скорость прокатки, м/с	V_{np}	
11	Допустимое усилие прокатки, кН	$P_{дон}$	
12	Мощность главного привода, кВт	N_{np}	
13	Момент главного привода, Н·м	M_{np}	
14	Скорость перемещения нажимных винтов: точный ход, мм/мин ускоренный ход, мм/мин	$V_{не}^m$ $V_{не}^y$	
15	Исходная ширина заготовки (макс.), мм	B_3	
16	Исходная толщина заготовки (макс.), мм	H_0	
17	Толщина на выходе (мин.), мм	H_1	

6. В процессе прокатки фиксировать показания силоизмерительного прибора. Установить максимальное усилие P_{\max} в каждом проходе.

7. Штангенциркулем измерить толщину H_1' прокатанных образцов (толщину следует измерять по середине ширины образца).

8. Определить экспериментальную величину упругой деформации станины f_9 по формуле (25).

9. С учетом экспериментальных данных (P_{\max}) по формулам (22)-(24) определить напряжения (σ_c , σ_n) и деформацию (f_m) станины при различных обжатиях.

10.

11. Экспериментальные и расчетные величины занести в табл. 6.

12. Построить графики зависимостей упругой деформации стана f_m и f_9 от величины относительного обжатия ε_H .

13. Сделать выводы.

Табл. 6 – Экспериментальные и расчетные величины

№	H_0 , мм	H_1 , мм	ε_H , %	H_1' , мм	P_{\max} , кН	σ_c , МПа	σ_n , МПа	f_m , мм	f_9 , мм	$\frac{f_m}{f_9}$
1										
2										
3										

Содержание отчета

1. Схема главной линии прокатного стана (рис. 13).
2. Схема станины и эпюра изгибающих моментов (рис. 14).
3. Расчетные формулы (22)-(25).
4. Табл. основных технических характеристик стана (табл. 5).
5. Протокол обработки результатов эксперимента (табл. 6).
6. Графики зависимости деформации от величины обжатия.
7. Выводы по работе.

Контрольные вопросы

1. Что называют прокатным станом?
2. Опишите конструкцию рабочей клетки стана 300.
3. Каким образом перемещают валки?
4. Как устроена главная линия рабочей клетки?
5. Какую функцию выполняют опорные валки?
6. Какое оборудование относят к вспомогательному?
7. В чем состоит назначение шестеренной клетки, универсальных шпин-

делей?

8. Как классифицируются рабочие клетки по числу валков?
9. Назовите основной параметр листопрокатного стана?
10. Что представляет собой рольганг и каковы его функции?
11. Зачем на станах используют проводки?
12. Перечислите основные технические характеристики прокатного стана.
13. Зачем рабочую клетку оснащают устройствами для уравнивания валков?
14. Из каких величин складывается общая деформация станины в вертикальном направлении?
15. Перечислите основные типы станин.
16. Каким образом производится расчет станины на прочность?

Лабораторная работа №5 «Исследование анизотропии свойств при прокатке»

Цель работы: анализ причин появления анизотропии свойств деформированного металла при прокатке и исследование зависимости ее от степени деформации.

Анизотропия свойств

Процесс кристаллизации при затвердевании жидкого металла идет одновременно в очень большом количестве центров кристаллизации, поэтому обычный металл представляет собой не единый кристалл, а конгломерат зерен (кристаллитов), форма, размеры и направление кристаллографических осей которых зависят от условий кристаллизации и последующей обработки. Такое строение называется *поликристаллическим*.

В каждом зерне поликристаллического металла наблюдается анизотропия. Однако вследствие разнообразной беспорядочной ориентировки кристаллографических плоскостей в отдельных зернах свойства всего поликристаллического тела, состоящего из бесчисленного множества зерен, усредняются и не зависят от направления. Тело (металл) становится как бы изотропным – *квазиизотропное* тело.

В поликристалле зерна взаимодействуют друг с другом и не могут деформироваться свободно, вблизи границ между зернами свойства материала иные, нежели внутри зерна. Вследствие этого остаточное формоизменение поликристаллического тела осуществляется в результате деформирования каждого отдельного зерна (внутризеренная деформация) и перемещения, поворота зерен относительно друг друга (межзеренная деформация).

Наличие значительного количества зерен, а также тот факт, что плоскости скольжения в отдельных зернах ориентированы в пространстве не одинаково, приводят к тому, что при нагружении поликристаллического тела системой внешних сил пластические деформации появляются одновременно во всех зернах. В первую очередь они возникают в зернах с наиболее благоприятно ориентированными плоскостями скольжения, т.е. совпадающими с направлением максимальных касательных напряжений. Таковыми являются зерна, возможные плоскости скольжения которых составляют 45° с направлением приложенных внешних сил. Остальные зерна в это время деформируются упруго и могут получать лишь относительное смещение.

По мере развития деформаций, пластически деформируемые кристаллиты будут оказывать давление на соседние, в которых напряжения будут увеличиваться, пока также не произойдут сдвиги. Таким образом, число кристаллитов,

охваченных пластической деформацией, с ростом степени ее (внешних сил) будет постоянно увеличиваться. В результате развиваются групповые сдвиги, сопровождающиеся дроблением кристаллитов на более мелкие. При этом зерна ориентируются в направлении наиболее интенсивного течения металла. Кристаллиты теряют равноосную форму, а металл приобретает волокнистую структуру и наклёпывается (упрочняется).

Определенная ориентировка вытянутых в результате пластической деформации зерен называется *полосчатостью микроструктуры* металла.

Появлению полосчатости способствует наличие в металле различного рода включений, местной неоднородности состава или даже пустот. Неметаллические включения могут обуславливать *строчечную микроструктуру*. Причем если отжигом можно устранить в большинстве случаев вытянутость кристаллитов, то для изменения направления вытянутых частиц примесей и включений, создающих строчечность микроструктуры металла, необходима деформация в соответствующем направлении.

Волокнистое строение обуславливает различие механических свойств наклепанного металла в разных направлениях – так называемую *механическую анизотропию*.

По мере протекания пластической деформации одновременно с изменением формы зерен происходит поворот в пространстве кристаллографических осей отдельных кристаллитов. Когда их плоскости скольжения практически совпадают с направлением наиболее интенсивного течения металла, имеет место ориентировка кристаллографических осей зерен поликристалла, называемая *текстурой деформации*.

Текстура в свою очередь вызывает анизотропию свойств металла – *кристаллическую анизотропию*. Последнюю следует отличать от механической.

Анизотропия свойств с практической точки зрения может быть как полезной, так и вредной. Примером неблагоприятного влияния анизотропии является образование фестонов при глубокой вытяжке листовых металлов. Полезное влияние текстуры и связанной с ней анизотропии может проявляться в улучшении технологической пластичности материала, уменьшении сопротивления деформации при обработке давлением, повышении эксплуатационных характеристик и механических свойств.

Показатели анизотропии

Для количественной оценки анизотропии свойств наиболее широко применяются *коэффициенты поперечной деформации*, которые представляют собой отношение деформаций по ширине образца к деформации вдоль действия силы:

$$\mu_{ij} = -\frac{e_i}{e_j},$$

где индекс i соответствует направлению поперечной деформации при линейном растяжении образца вдоль направления j ($i, j = 1, 2, 3$; 1 – направление проката, 2 – поперечное направление; 3 – направление по толщине листа);

e – натуральная (логарифмическая) деформация.

При оценке влияния анизотропии часто пользуются осредненными в плоскости листа коэффициентами, которые называют *показателями нормальной анизотропии*, характеризующими степень анизотропии листа относительно толщины:

$$\bar{\mu} = \frac{\mu_{21} + 2\mu_1 + \mu_{12}}{4}, \quad (26)$$

где μ_{21} , μ_{12} , μ_1 – показатели анизотропии соответственно вдоль, поперек и под углом 45° к направлению прокатки.

Коэффициенты поперечной деформации μ_{ij} определяются по результатам испытаний плоских образцов (темплетов) на линейное растяжение. Расчет показателей анизотропии осуществляется по следующим выражениям:

$$\mu_{ij} = -\frac{e_b}{e_l} = \frac{\ln \frac{b_0}{b_k}}{\ln \frac{l_k}{l_0}},$$

или с учетом условия постоянства объема:

$$\mu_{ij} = -\frac{e_b}{e_b + e_s} = \frac{\ln \frac{b_0}{b_k}}{\ln \frac{b_0}{b_k} + \ln \frac{s_0}{s_k}}, \quad (27)$$

где e_b – деформация сжатия в направлении ширины темплета;

e_l – деформация растяжения в направлении длины темплета;

e_s – деформация сжатия в направлении толщины темплета;

b_0 , b_k – начальное и конечное значения ширины темплета;

s_0 , s_k – начальное и конечное значения толщины темплета;

l_0 , l_k – начальное и конечное значения длины темплета.

Оборудование, инструменты, материалы

1. Лабораторный реверсивный прокатный стан 300.
2. Универсальная испытательная машина ЦДМУ-30.

3. Вырубной штамп.
4. Измерительный инструмент – штангенциркуль.
5. Четыре алюминиевых образца: $3 \times 150 \times 175$ мм, $3,5 \times 150 \times 150$ мм, $4,5 \times 150 \times 120$ мм, $6 \times 150 \times 90$ мм.
6. Чертилка.

Порядок выполнения работы

1. Измерить начальную толщину образцов H_0 .
2. Произвести прокатку трех образцов до толщины 3 мм. Измерить фактическую толщину образцов H_1 .
3. Разметить поверхность образцов по схеме, приведенной на рис. 15.
4. Произвести вырубку темплетов из размеченных образцов в вырубном штампе.
5. Измерить начальную толщину s_0 и ширину b_0 темплетов.
Замеры начальных и конечных значений ширины и толщины производить одновременно в трех сечениях расчетной длины испытуемого темплета (в табл. 7 заносить осредненные значения).
6. На универсальной испытательной машине ЦДМУ-30 произвести линейное растяжение темплетов.
7. Измерить конечную толщину s_k и ширину b_k темплетов.
8. Опытные данные занести в табл. 7.

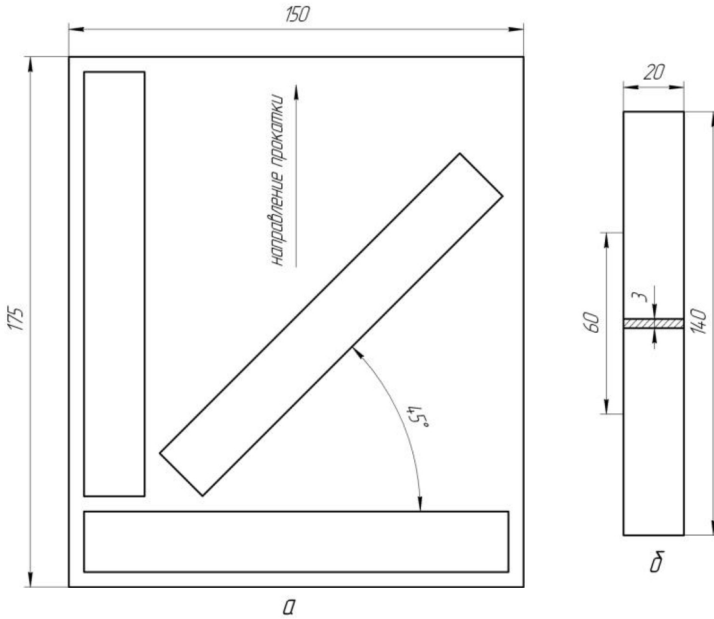


Рис. 15. Схема разметки образца (а) и темплет для испытаний (б)

Табл. 7. Экспериментальные и расчетные величины

№ образца	№ темплетта	Прокатка			Линейное растяжение							
		H_0 , мм	H_1 , мм	ε_H , %	b_0 , мм	s_0 , мм	b_K , мм	s_K , мм	e_b	e_s	μ_{ij}	$\bar{\mu}$
I	1											
	2											
	3											
II	4											
	5											
	6											
III	7											
	8											
	9											
IV	10											
	11											
	12											

Порядок обработки результатов измерений

1. Используя результаты измерений, вычислить величину относительного обжатия ε_H для каждого варианта прокатки.
2. Рассчитать логарифмические деформации в направлении ширины e_b и толщины e_s темплета по формуле (27).
3. Рассчитать показатели анизотропии μ_{ij} вдоль, поперек и под углом 45° к направлению прокатки по формуле (27).
4. Рассчитать показатель нормальной анизотропии $\bar{\mu}$ по формуле (26).
5. Результаты расчетов занести в табл. 7
6. Построить графики зависимостей $\mu_{ij} = f \varepsilon_H$ и $\bar{\mu} = f \varepsilon_H$.
7. Сделать вывод о влиянии степени обжатия на анизотропию свойств прокатанного металла.

Содержание отчета

1. Расчетные формулы (26) и (27).
2. Схема разметки образца и эскиз темплета (рис. 15).
3. Протокол обработки результатов эксперимента (табл. 7).
4. Графики изменения показателей анизотропии в зависимости от величины обжатия.
5. Выводы.

Контрольные вопросы

1. Что такое показатель нормальной анизотропии?
2. Какое тело называется поликристаллическим?
3. Дайте определение текстуре деформации.
4. Можно ли отжигом устранить полосчатую микроструктуру? Строчечную? Почему?
5. В чем различие между изотропным и квазиизотропным телом?
6. Опишите механизм пластической деформации.
7. В чем различие между механической и кристаллической анизотропией?
8. Как определяются коэффициенты поперечной деформации?
9. Какое влияние оказывает анизотропия на технологический процесс?
10. Назовите основные механизмы пластической деформации.

Лабораторная работа №6 «Изучение энергетических параметров при прокатке»

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

Расход энергии при прокатке

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:

$$N_{расчет} = N_{деф} + N_{подш} + N_{шест} + N_{редукт} + N_{дв}, \quad (28)$$

где $N_{деф}$ – 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);

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

$N_{шест}$ – мощность, затрачиваемая в шестеренной клетке на преодоление трения в подшипниках и в зубьях шестерен;

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

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

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

$$N_{деф} = \frac{2\alpha v f P_m R}{l}, \quad (29)$$

где P_m – усилие прокатки, определяемое аналитически по формулам (34)-(38);

v – скорость прокатки.

Для стана кварто потери на трение в подшипниках определяются по

формуле:

$$N_{подш} = 2k\psi f_{подш} P_m, \quad (30)$$

где $f_{подш}$ – коэффициент трения в подшипниках (для роликовых подшипников стана 300 $f_{подш} = 0,003$);

k – коэффициент, равный отношению диаметра шейки рабочего вала к диаметру бочки опорного вала (для стана 300 $k = 0,19$).

Подсчет остальных трех элементов производят при помощи коэффициентов полезного действия (КПД) каждого механизма в отдельности. В этом случае формула (28) примет вид:

$$N_{расчет} = \frac{N_{деф} + N_{подш}}{\eta_{шест} \cdot \eta_{редукт} \cdot \eta_{дв}}, \quad (31)$$

где $\eta_{шест}$ – КПД шестеренной клетки ($\eta_{шест} = 0,95 - 0,97$);

$\eta_{редукт}$ – КПД редуктора ($\eta_{редукт} = 0,97 - 0,98$);

$\eta_{дв}$ – КПД электродвигателя ($\eta_{дв} = 0,86 - 0,88$).

Если принять за полезную мощность, расходуемую в прокатном стане, мощность $N_{деф}$, идущую на деформацию металла и преодоление трения металла о валки, то коэффициент полезного действия равен:

$$\eta = \frac{N_{деф}}{N_{расчет}} \cdot 100\% \quad (32)$$

Экспериментальное определение мощности прокатки производится на основании силы тока I в якоре двигателя и напряжения питания U двигателя (для двигателя постоянного тока стана 300 $U = 400$ В) по формуле:

$$N_{опыт} = IU \quad (33)$$

Теоретическое определение усилия прокатки

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 клетки, 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 вала 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_{cp} :

$$P_m = p_{cp}F \quad (34)$$

$$F = Bl \quad (35)$$

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.).

Для определения удельного давления металла на валки при холодной прокатке без натяжения используются:

1) формула А.А. Королева

$$p_{cp} = 1,15\sigma_{s0} \left[\frac{\xi}{m_1} e^{m_1 1-\psi} - 1 + e^{m_0 1-\psi} - 1 \right], \quad (36)$$

$$m_0 = 2f \frac{l}{H_0}, \quad m_1 = 2f \frac{l}{H_1},$$

где ξ – коэффициент упрочнения;

$$\xi = \sigma_{s1} / \sigma_{s0},$$

σ_{s0} , σ_{s1} – предел текучести ненагартованного и нагартованного материала (для алюминиевого сплава АМц $\sigma_{s1} = \sigma_{s0} + 157,8\varepsilon_H^{0,71}$, $\sigma_{s0} = 50$ МПа; для АМг $\sigma_{s1} = \sigma_{s0} + 196,8\varepsilon_H^{0,59}$, $\sigma_{s0} = 100$ МПа);

ψ – коэффициент, характеризующий положение нейтрального сечения;

$$\psi = \frac{1}{2} \frac{1 - \varepsilon_H}{1 - \varepsilon_H / 2} \left[1 - \frac{1}{m_0} \ln \xi \right];$$

2) формула Хилла

$$p_{cp} = 1,15\bar{\sigma}_s \left[1,08 + 1,79f \left(1 - \frac{H_1}{H_0} \right) \sqrt{\frac{R}{H_1}} - 1,02 \left(1 - \frac{H_1}{H_0} \right) \right], \quad (37)$$

$$\bar{\sigma}_s = \frac{\sigma_{s0} + \sigma_{s1}}{2},$$

3) формула Е.С. Рокотяна

$$p_{cp} = 1,15\bar{\sigma}_s \frac{h^2}{2f^2l^2} \frac{\sigma_{s1} - \sigma_{s0}}{\left[\sqrt{\rho_0 \rho_1} e^{\frac{fl}{h} \frac{\rho_0 + \rho_1 + \ln \rho_1 / \rho_0}{2}} \right]}, \quad (38)$$

$$\rho_0 = 1 + \frac{2fl\sigma_{s0}}{h(\sigma_{s1} - \sigma_{s0})}, \quad \rho_1 = \frac{2fl}{h} \left(\frac{\sigma_{s0}}{\sigma_{s1} - \sigma_{s0}} + 1 \right), \quad h = \frac{H_0 + H_1}{2}$$

4) по формуле А.И. Целикова

$$p_{cp} = \frac{1,15}{\Delta H} \left\{ \sigma_{s0} \frac{H_0}{\delta - 2} \left[\left(\frac{H_0}{\bar{h}} \right)^{\delta - 2} - 1 \right] + \sigma_{s1} \frac{H_1}{\delta + 2} \left[\left(\frac{\bar{h}}{H_1} \right)^{\delta + 2} - 1 \right] \right\} \quad (39)$$

$$\delta = \frac{2fl}{\Delta H}, \quad \bar{h} = 2\delta \sqrt{H_0^{\delta - 1} H_1^{\delta + 1}}$$

Оборудование, инструменты, материалы

1. Лабораторный реверсивный прокатный стан 300.
2. Измерительный инструмент – штангенциркуль.
3. Три алюминиевых образца с размерами $2 \times 100 \times 150$ мм.

Порядок выполнения работы

1. Измерить в трех местах толщину образцов H_0 (толщину следует измерять по середине ширины образца) и ширину B_0 (в табл. 8 занести осредненное значение).

2. Подготовленные алюминиевые образцы прокатать в один проход с обжатием ε_H : 10%, 25% и 50%.

3. В процессе прокатки фиксировать показания силоизмерительного прибора и амперметра. Установить максимальные усилие P_s и силу тока I в каждом проходе.

4. Измерить в трех местах у прокатанных образцов их толщину H_1 и ширину B_1 .

5. Опытные данные занести в табл. 8.

Порядок обработки результатов измерений

1. Рассчитать теоретическую величину усилия прокатки P_m по формулам (36)-(38).

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).

2. Рассчитать мощность деформирования $N_{деф}$, потери на трение в подшипниках $N_{подш}$, а также мощность прокатки $N_{расчет}$ и $N_{опыт}$ по формулам (29)-(31), (33).

Табл. 8. Экспериментальные и расчетные величины

Показатель		№ образца		
		1	2	3
Начальные размеры, мм	H_0			
	B_0			
Конечные размеры, мм	H_1			
	B_1			
Характеристики деформирования	ΔH , мм			
	H_1/H_0			
	ε_H , %			
Промежуточные расчеты	$B_{ср}$, мм			
	l , мм			
	F , мм ²			
	h , мм			
	σ_{s1} , МПа			
	$\bar{\sigma}_s$, МПа			
	m_0			
	m_1			
	ξ			
	ψ			
	ρ_0			
	ρ_1			
Опытные данные	I , А			
	P_g , кН			
Мощность Прокатки, кВт	$N_{опыт}$			
	$N_{деф}$			
	$N_{подш}$			
	$N_{расчет}$			
	η , %			
Силовые	$p_{ср}$	(36)		

параметры	МПа	(37)			
		(38)			
	P_m , кН	(36)			
		(37)			
		(38)			

3. Определить КПД прокатного стана η по формуле (32).
4. Результаты расчетов занести в табл. 8.
5. Построить графики зависимостей $P_{\sigma} = f \varepsilon_H$ и $P_m = f \varepsilon_H$ на одном координатном поле.
6. Построить графики зависимостей $N_{расчет} = f \varepsilon_H$ и $N_{опыт} = f \varepsilon_H$ на одном координатном поле.
7. Сделать вывод о влиянии степени обжатия на энергетические параметры процесса прокатки (усилие, мощность, КПД) и о возможности их теоретического определения по формулам (31)-(38).

Содержание отчета

1. Расчетные формулы (28)-(38).
2. Протокол обработки результатов эксперимента (табл. 8).
3. Графики изменения энергетических параметров процесса прокатке в зависимости от величины обжатия.
4. Выводы.

Контрольные вопросы

1. Охарактеризуйте наипростейший способ прокатки.
2. Каким образом определяется мощность, расходуемая на прокатку?
3. От каких факторов зависит среднее удельное давление металла на валки?
4. Как рассчитывается усилие прокатки?
5. Какие потери мощности наблюдаются при прокатке?
6. Назовите способы определения среднего удельного давления.

Лабораторная работа №7 «Исследование распределения давления по контактной поверхности при прокатке»

Цель работы: освоение метода листовых датчиков давления; изучение распределения давления по контактной поверхности рабочего вала.

Краткие теоретические сведения

При упрощении анализа силовых условий прокатки и в большинстве случаев практических расчетов напряжений в частях прокатного стана или при определении допустимых обжатий при эксплуатации имеющихся прокатных станов пользуются величиной удельного давления, соответствующего среднему давлению металла на валки или среднему сопротивлению деформации. Из формул (34), (35) и (18) получим:

$$p_{cp} = \frac{P}{B\sqrt{RAH}} \quad (40)$$

Эта величина отвечает также случаю равномерного распределения давления по поверхности контакта, к чему в действительности можно приближаться лишь в особых условиях, а во всех обычных случаях прокатки давление по поверхности контакта распределено неравномерно.

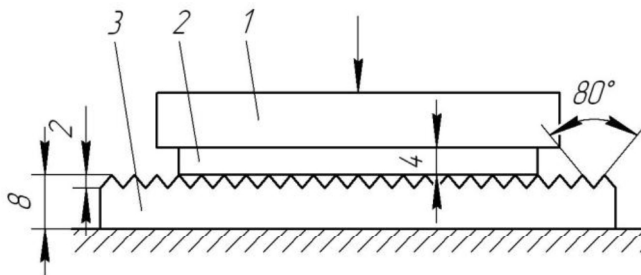
Неравномерность распределения давления зависит от ряда факторов: действия сил трения, непостоянства температуры, непостоянства скорости деформации, наклепа (развивающегося от входа к выходу) и некоторых других. В результате объемная диаграмма распределения давления может быть различной, в зависимости от имеющихся условий процесса прокатки, причем продольные и поперечные сечения этой диаграммы имеют разный вид.

Так, распределение давления в продольном направлении обычно характеризуется кривой с одним максимумом в средней части диаграммы, а в поперечном направлении при известной ширине полосы подчиняется более сложному закону с появлением двух максимумов и впадины по середине полосы. При прокатке узких полос эпюра имеет куполообразную форму.

Знание действительного распределения давления по поверхности контакта необходимо не только для уточненного анализа теоретических вопросов, но и для чисто практических целей. Так, износ валков и вообще условия службы его поверхностных слоев, очевидно, связаны с величиной не среднего, а максимального давления (вершина диаграммы), так как любой участок поверхности валков обязательно подвергается воздействию этого максимального давления (проходя последовательно через все сечения очага деформации). В данной работе определяется распределение давления, отвечающее исследуемым частным случаям процесса прокатки.

Метод листовых датчиков давления

Одним из простых методов экспериментального определения нормального контактного давления является метод листовых датчиков давления. Листовые датчики представляют собой профилированные пластинки, изготовленные методом отпечатка с помощью специального инструмента (рис. 16).



1 – давитьник; 2 – заготовка; 3 – профилированный пуансон

Рис. 16. Схема изготовления листовых датчиков давления

Сущность измерения контактного давления с помощью данных датчиков состоит в том, что под действием нормального давления со стороны рабочего вала происходит пластическая деформация (осадка) выступов датчика. По размерам деформированных выступов определяется значение давления p на контактной поверхности.

С целью оценки величины контактного давления p от размеров деформированных выступов производится тарировка датчиков полиуретаном в замкнутом объеме при различных уровнях давления p (рис. 17). Датчик 1 устанавливается в контейнере 3. При нажатии на пуансон 4 силой P_{map} в закрытой полости контейнера с помощью полиуретана 2 создается давление p , определяемое по формуле:

$$p = P_{map} / F_k, \quad (41)$$

где F_k – площадь контактной поверхности;

$$F_k = \frac{\pi D^2}{2} \left(1 + \frac{2t}{D} \right),$$

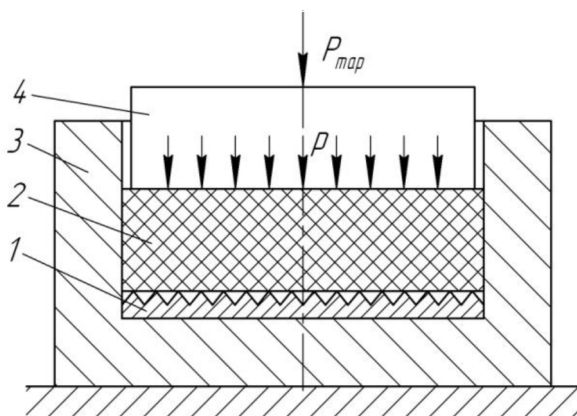
t – толщина полиуретановой шайбы;

D – диаметр контейнера для тарировки.

Изменение геометрии деформированных выступов профиля насечки дат-

чика характеризуется параметром m_i (рис. 18):

$$m_i = a_i / b_i \quad (42)$$



1 – датчик; 2 – полиуретановая шайба; 3 – контейнер; 4 – пуансон

Рис. 17. Схема тарировки листовых датчиков давления

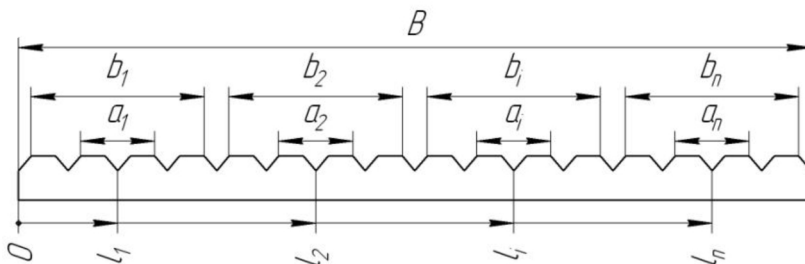


Рис. 18. Измерение размеров деформированного датчика

Метод листовых датчиков давления имеет следующие недостатки: неидентичность условий при образовании отпечатка на датчике в процессе тарировки и эксперимента; листовые датчики замеряет давление лишь в ограниченном количестве мест контактной поверхности.

Оборудование, инструменты, материалы

1. Лабораторный реверсивный прокатный стан 300.
2. Универсальная испытательная машина ЦДМУ-30.
3. Тарировочный штамп.
4. Измерительный инструмент – штангенциркуль.
5. Профилированная алюминиевая пластинка ($\text{Ø}50 \times 4$ мм) для тарировки.

6. Два профилированных алюминиевых образца для прокатки с размерами $4 \times 100 \times 150$ мм.

Порядок выполнения работы

1. Изучить конструкцию оснастки для тарировки. Измерить диаметр D контейнера и толщину полиуретановой шайбы t .

2. Произвести тарировку датчиков на универсальной испытательной машине ЦДМУ-30 ступенчатым нагружением датчиков при усилии пресса $P_{тар}$ 50 и 150 кН.

3. На каждом этапе нагружения измерить размеры деформированных выступов датчика a_i и b_i (рис. 18).

4. Результаты тарировки датчиков занести в табл. 9.

Табл. 9. Результаты тарировки датчиков

$P_{тар}$, кН	p , МПа	a_i , мм	b_i , мм	m_i	$m_{ср}$

5. Измерить толщину H_0 по середине ширины профилированного образца и ширину B_0 .

6. Подготовленные профилированные алюминиевые образцы прокатать в один проход с обжатием ε_H : 10% и 25%.

7. В процессе прокатки фиксировать показания силоизмерительного прибора. Установить максимальные усилие P_9 в каждом проходе.

8. Измерить у прокатанных образцов их толщину H_1 и ширину B_1 , а также размеры деформированных выступов a_i и b_i и их положение относительно края образца l_i (рис. 18).

9. Результаты прокатки занести в табл. 10.

Порядок обработки результатов измерений

1. Рассчитать давление p , возникающее в тарировочном штампе, по формуле (41).

2. На основании результатов тарировки датчика (табл. 9) по формуле (42) определить параметр m_i .

3. Рассчитать среднее арифметическое значение параметра m_{cp} .
4. Построить тарифовочный график $p = f m$.
5. Аппроксимировать зависимость $p = f m$ линейной функцией по формуле:

$$\frac{p - p_1}{p_2 - p_1} = \frac{m - m_1}{m_2 - m_1}, \quad (43)$$

где p_1 и p_2 – давление при усилении тарировки 50 и 150 кН;

m_1 и m_2 – деформация выступов датчика при усилении 50 и 150 кН.

6. Результаты обработки данных по тарировке занести в табл. 9.
7. На основании результатов прокатки (табл. 10) рассчитать абсолютное обжатие ΔH , степень обжатия ε_H и среднюю ширину B .
8. Рассчитать среднее удельное давление прокатки на основании замеренного усилия P_s по формуле (40).
9. По формуле (42) определить параметр m_i прокатанных образцов.
10. По тарифовочному графику или формуле (43) найти нормальное давление p_i на контактной поверхности. Рассчитать среднее арифметическое значение давления \bar{p}_i .
11. Построить эпюры распределения давления по контактной поверхности рабочего вала $p_i = f l_i$ при разной степени обжатия (на одном координатном поле).
12. Сделать вывод о влиянии степени обжатия на распределение давления по контактной поверхности.

Содержание отчета

1. Эскизы листового датчика давления и тарифовочного штампа (рис. 17 и 18).
2. Расчетные формулы (40)-(43).
3. Тарифовочный график.
4. Протокол обработки результатов эксперимента (табл. 9 и 10).
5. Графики эпюры нормального давления.
6. Выводы.

Контрольные вопросы

1. Каким образом изготавливаются профилированные листовые датчики?
2. Чем объясняется неравномерность распределения давления по контактной поверхности при прокатке?
3. В чем заключается сущность метода листовых датчиков давления?

4. На каких участках рабочего валка нормальное контактное давление наибольшее?
5. Перечислите недостатки метода листовых датчиков.
6. Каким образом можно повысить износостойкость валков?
7. Как и для чего проводится тарировка листовых датчиков?

Лабораторная работа №8 «Расчет режима обжатий при холодной прокатке»

Цель работы: овладеть методикой расчета режима обжатий для случая холодной прокатки листа на одноклетьевом реверсивном стане и дать анализ фактически получаемых данных при прокатке опытного алюминиевого образца на лабораторном стане.

Краткие теоретические сведения

Выбранный режим обжатий должен обеспечивать: качество продукции, соответствующее требованиям ГОСТ или техническим условиям; максимальную производительность стана; более полное и эффективное использование возможностей механического и электрического оборудования; минимальный расходный коэффициент металла и низкую себестоимость продукции; высокую эффективность использования систем регулирования и управления.

Величина суммарного относительного обжатия при холодной прокатке для каждого материала определяется исходя из требований, предъявляемых к структуре, механическим и технологическим свойствам готового проката, с учетом возможностей механического и электрического оборудования конкретного стана. Кроме того, учитывается возможность и целесообразность получения требуемой толщины подката на стане горячей прокатки. Опыт работы отечественных и зарубежных станов показывает, что суммарное обжатие при холодной прокатке полос составляет 50-80%.

Значения частных относительных обжатий по клетям определяются величиной исходного предела текучести и характером упрочнения прокатываемого материала; прочностью валков; мощностью привода рабочих клетей, шероховатостью рабочих валков; эффективностью применяемой технологической смазки; режимами натяжения; условиями охлаждения валков; толщиной готовой полосы; толщиной и качеством исходного подката; требованиями, предъявляемыми к точности геометрических размеров и качеству поверхности готового проката и некоторыми другими менее существенными факторами.

Большое значение имеет распределение частных обжатий по клетям или проходам (на реверсивных станах). На отечественных и зарубежных станах холодной прокатки распределение обжатий по проходам (клетям) производится по двум принципиально различным схемам (рис. 19, большие значения обжатия соответствуют «мягким» сплавам, меньшие – «твердым» сплавам).

По первой схеме (рис. 19, а) относительные обжатия последовательно

уменьшаются от первой клетки к последней. При таком распределении обжатий удастся обеспечить примерно равномерную загрузку клеток по усилию прокатки и расходуемой мощности, поскольку снижение обжатий компенси-

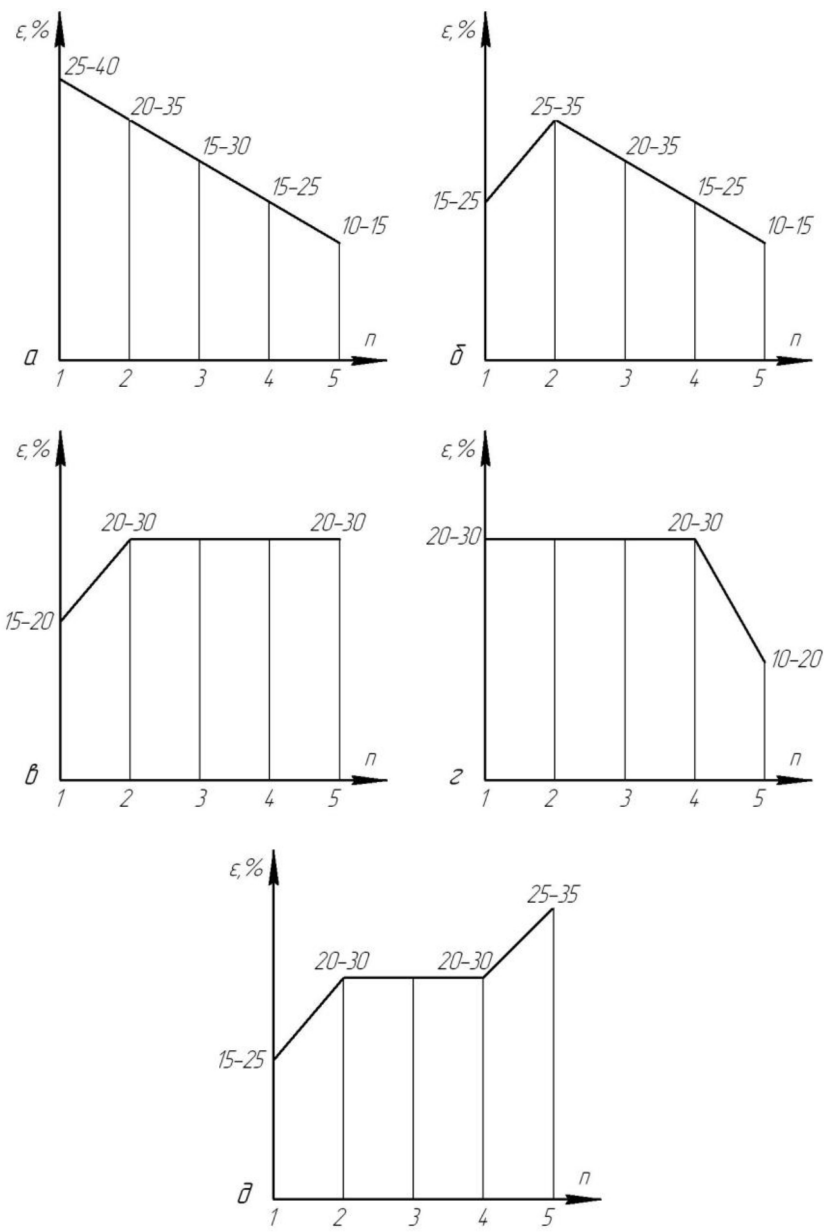


Рис. 19. Режимы обжатий, применяемые при холодной прокатке

рует рост контактных давлений в связи с наклепом металла и уменьшением по толщине. Кроме того такое распределение обжатий предполагает максимальную деформацию металла при относительно больших толщинах полосы, что является энергетически выгодным при прокатке относительно толстых полос. Такой режим обжатий часто применяется на одноклетевых реверсивных станах, где особенно важно поддерживать постоянство усилий прокатки по проходам, а также при прокатке тонких полос из подката с минимальной разнотолщинностью и хорошей планшетностью.

Разновидностью этой схемы является схема, предусматривающая некоторое уменьшение частного обжатия в первой клетке (рис. 19, б). Достоинством такого режима является то, что в первом проходе происходит выравнивание полосы по толщине, т.е. уменьшается продольная разнотолщинность.

По второй схеме (рис. 19, в-д) частные обжатия во всех клетях, за исключением первой и/или последней, устанавливаются примерно на одном уровне. Иногда во всех клетях относительное обжатие принимается приблизительно одинаковым.

Применение меньших относительных обжатий в первой клетке (рис. 19, в) обусловлено изложенными выше соображениями. Схема с уменьшением обжатия в последней клетке (рис. 19, г) используется в случае применения насеченных рабочих валков в данной клетке, что способствует выравниванию усилий по клетям и улучшению температурных условий прокатки.

Увеличение обжатия в последней клетке (рис. 19, д) позволяет увеличить толщину полосы в последнем промежутке стана, что способствует снижению обрывности.

С учётом особенностей прокатки на каждом конкретном стане и требований, предъявляемых к качеству готовой продукции, эти схемы могут претерпевать незначительные изменения.

Методика расчета режима обжатий

Зная среднюю вытяжку за все проходы λ_{cp} (ориентировочно $\lambda_{cp} \approx 1,4$), легко вычислить ориентировочно число проходов n_{op} , необходимых для проката полосы сечением F_0 в полосу сечением F_1 :

$$n_{op} = \frac{\ln F_0 - \ln F_1}{\ln \lambda_{cp}}, \quad (44)$$

Полученное ориентировочное число проходов n_{op} округляется до ближайшего большего целого числа n .

После определения числа проходов n производят примерное распределение обжатий по проходам и клетям прокатного стана до получения задан-

ной конечной толщины H_1 , исходя из исходной толщины заготовки H_0 . Чаще всего распределение производят на основе существующего производственного опыта с учетом технологических факторов.

По намеченным схемам обжатий подсчитываются следующие технологические величины для каждого прохода:

- 1) исходная H_{0i} и конечная H_{1i} толщина, а также абсолютное обжатие ΔH_i для каждого прохода;
- 2) угол захвата по формуле (12);
- 3) длина дуги захвата l_i по формуле (18);

Формула (18) справедлива только для холодной прокатки «мягких» сплавов, т.к. не учитывает сплющивания валков вследствие значительных по величине удельных давлений. Для определения действительной длины дуги захвата l_{ci} при расчетах режимов холодной прокатки «твердых» сплавов используется формула Хичкока-Целикова:

$$l_{ci} = \sqrt{l_i + x_i^2} + x_i, \quad (45)$$

$$x_i = \frac{p_{cpi} R}{95000}$$

Использование формулы (45) в расчетах давления p_{cpi} требует применения метода последовательных приближений (метода итераций), т.к. в нее входит искомая величина p_{cpi} . На практике поступают так: сначала выполняют расчет давления без учета сплющивания валков по формуле (18), а затем найденное значение p_{cpi} подставляют в формулу (45) и расчет повторяют. Иногда такую операцию приходится выполнять несколько раз. Расчет считается удовлетворительным, когда вычисленное значение p_{cpi} получается близким к заданному (различие порядка 5%).

- 4) уширение полосы ΔB_i по формулам (15)-(17);
- 5) конечная ширина B_{1i} на выходе в i -м проходе по формуле:

$$B_{1i} = B_{0i} + \Delta B_i,$$

- 6) средняя ширина B_i за i -ый проход по формуле (19);
- 7) контактная площадь металла с валком F_i по формуле (35);
- 8) среднее удельное давление p_{cpi} по формулам (36)-(39);
- 9) усилие прокатки P_{mi} по формуле (34);
- 10) момент прокатки M_{npi} по формуле:

$$M_{npi} = 2\psi_i P_{mi} l_i,$$

где ψ_i – коэффициент плеча приложения равнодействующей (при холодной прокатке ориентировочно можно принять $\psi \approx 0,35 - 0,45$ в каждом проходе).

Если при намеченной схеме обжатий величины α_i , P_{mi} и M_{npi} не превышают допустимых значений, то она может быть оставлена без изменений. Если полученные α_i , P_{mi} и M_{npi} оказываются выше допустимых для данного стана, то производится повторный расчет при меньшем значении абсолютного обжатия. Расчеты повторяются до получения допустимого или близкого к нему давления и момента по всем проходам.

Оборудование, инструменты, материалы

1. Лабораторный реверсивный прокатный стан 300.
2. Измерительный инструмент – штангенциркуль.
3. Два алюминиевых образца с размерами $6 \times 100 \times 150$ мм.

Порядок выполнения работы

1. Рассчитать режимы обжатий при прокатке полосы 2×100 мм из заготовки 6×100 мм.

Расчет произвести по выше приведенной методике для двух схем распределения обжатий по проходам (рис. 19, б и в). При этом в расчетах пренебречь величиной сплющивания валков; уширение определить по формуле (17), а среднее удельное давление по формуле (39).

При расчете усилия прокатки взять коэффициент трения f металла о валки из данных лабораторной работы №2 (вариант прокатки при смазанных машинным маслом валках).

В качестве фактора, определяющего возможность прокатки по выбранному режиму, взять только усилие прокатки (максимальное усилие прокатки на лабораторном стане $300 - 560$ кН), т.к. условия захвата заготовки могут быть лимитирующим фактором при прокатке только в первых проходах, и в виду того, что при прокатке на лабораторном стане размеры опытного образца небольшие, а, следовательно, допустимые значения угла захвата велики.

2. Результаты расчетов занести в табл. 11.
3. На основании расчетных данных построить график распределения частных обжатий по проходам.
4. Измерить исходную толщину H_0 по середине ширины образцов и начальную ширину B_0 .

5. На основании выполненных расчетов произвести прокатку образцов до заданных размеров (по двум схемам распределения обжатий по проходам).

6. Во время прокатки в каждом проходе фиксировать максимальную величину усилия прокатки $P_{эi}$. После каждого прохода измерить толщину H_{1i} и ширину B_{1i} раската.

7. На основании экспериментальных данных рассчитать абсолютное обжатие, относительное обжатие и уширение.

8. Результаты эксперимента занести в табл. 12.

9. На основании сопоставления опытных и расчетных данных сделать вывод о возможности сохранения рассчитанного режима обжатий или о необходимости корректировки его.

Табл. 12. Экспериментальные данные

№	n	H_{0i} , мм	H_{1i} , мм	ΔH_i , мм	ε_{Hi} , %	B_{0i} , мм	B_{1i} , мм	ΔB_i , мм	P_{mi} , кН
I	1								
	2								
	3								
	4								
II	1								
	2								
	3								
	4								

Содержание отчета

1. Расчетные формулы (17), (34), (39), (44).
2. Схемы режимов обжатий, построенные по расчетным данным.
3. Протокол обработки результатов расчета и эксперимента (табл. 11 и 12).
4. Выводы.

Контрольные вопросы

1. Какие варианты распределения обжатий по клетям (проходам) применяются при холодной прокатке?
2. Опишите методику расчета режима обжатий.
3. Какими факторами определяется величина суммарного относительного обжатия при холодной прокатке? Частных относительных обжатий?
4. С какой целью относительные обжатия уменьшают от первой клетки к последней?
5. Каким образом рассчитывается действительная длина дуги захвата с учетом сплющивания валков?
6. На что влияет уменьшение величины обжатия в первой клетки? В последней клетки?

7. На основании каких факторов решается вопрос о допустимости применения рассчитанного режима обжарки?

8. С какой целью увеличивают относительное обжаривание в последней партии?

Список рекомендуемой литературы

1. Целиков, А.И. Теория продольной прокатки [Текст]/А.И. Целиков, Г.С. Никитин, С.Е. Рокотян – М.: Металлургия, 1980. – 320 с.
2. Паршин, В.С. Машины и агрегаты для обработки цветных металлов и сплавов [Текст]/В.С. Паршин, В.П. Костров, Б.С. Сомов – М.: Металлургия, 1988. – 400 с.
3. Грудев, А.П. Технология прокатного производства [Текст]/А.П. Грудев, Л.Ф. Машкин, М.И. Ханин. – М.: Металлургия, 1994. – 656 с.
4. Гречников, Ф.В. Деформирование анизотропных материалов (резервы интенсификации) [Текст]/Ф.В. Гречников. – М.: Машиностроение, 1998. – 448 с.

Приложения

Бланк отчета по лабораторной работе

Лаборатория кафедры "Обработка металлов давлением"

ОТЧЕТ

Работа № _____

Студент _____

Факультет _____

Группа _____

Дата _____

НАИМЕНОВАНИЕ РАБОТЫ

Цель работы: _____

ПЕРЕЧЕНЬ ПРИМЕНЯЕМЫХ ПРИБОРОВ И ОБОРУДОВАНИЯ (с указанием марки, типа, системы, класса точности)

1 _____

2 _____

3 _____

4 _____

5 _____

СХЕМА УСТАНОВКИ

Работа зачтена _____ 200__ г.

Подпись преподавателя _____

Подпись студента _____

Основные параметры лабораторного прокатного стана 300

1. Общие сведения				5. Валок			
Тип		Кварто		Материал		86CrMoV7 (9XF)	
Реверсивность		Реверсивный		Состояние		Закаленный	
Назначение		Холодная прокатка		Рабочий	Твердость, HRC	Бочки	63-65
Макс. ширина проката, мм		200				Шейки	63-65
Мин. толщина проката, мм		0,1			Диаметр, мм	Бочки	75
Скорость прокатки, м/мин		0-20				Шейки	42
Допустимое усилие, кН		560			Длина, мм	Бочки	300
Габариты	Длина, мм	5670		Шейки		119	
	Ширина, мм	4450		Опорный	Твердость, HRC	Бочки	55-57
	Высота, мм	2750				Шейки	63-65
2. Привод				Опорный	Диаметр, мм	Бочки	220
Электроприводитель	Род тока	Постоянный				Шейки	142,5
	Напряжение, В	400				Длина, мм	Бочки
	Сила тока, А	143			Шейки		110
	Мощность, кВт	50			6. Подшипники		
	Число оборотов, мин ⁻¹	1220		Тип	Роликовые, игольчатые		
Редуктор	Шестерни	Тип	Передаточное число	Подушки	Материал	Сталь	
	I пара	Цилиндрическая	4		Регулировка вдоль оси	Накладками	
	II пара	Цилиндрическая	8,6	7. Нажимное устройство			
	Суммарное		34,4		Тип	Электромеханическое	
3. Шестеренная клеть				Скорость перемещения		Точный ход	1,5
Тип клетки		Закрытая		нажимных винтов, мм/мин		Ускоренный ход	40
Тип зуба		Шевронный		Общее передаточное число			49,4
4. Станина				Значение деления циферблата, мм			0,01
Материал		Сталь		8. Уравновешивающее устройство			
Тип		Закрытая		Тип		Пружинное	
Ширина окна, мм		300		Максимальный подъем вала, мм		10	
Высота окна, мм		800					