

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ

ДОНБАССКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ
МАШИНОСТРОИТЕЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к лабораторным работам №9 – 15

по дисциплине «Расчет и конструирование прокатных станов»

(для студентов специальности 8.090218)

Краматорск 2004

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ

ДОНБАССКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ
МАШИНОСТРОИТЕЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

К лабораторным работам № 9 – 15

По дисциплине «Расчет и конструирование прокатных станов»

(для студентов специальности.8. 090218)

УТВЕРЖДЕНО
на заседании кафедры
автоматизированных
металлургических машин
и оборудования
Протокол № 3 от 4. 11. 03

Краматорск 2004

УДК 621.771

Методические указания к лабораторным работам № 9–15 по дисциплине «Расчет и конструирование прокатных станов» (для студентов специальности 8.090218) / Сост. В.И.Шпак.–Краматорск: ДГМА, 2004–40с.

Рассмотрены конструктивные особенности вспомогательного оборудования прокатных цехов, методы исследования его работы и расчета основных параметров.

Составитель

В.И. Шпак, доц.

Отв. за выпуск

Ю.К. Доброносков, доц.

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Программой курса «Расчет и конструирование прокатных станов» предусмотрено выполнение лабораторных работ с целью закрепления у студентов полученных на лекциях теоретических знаний по устройству машин и механизмов, приобретения практических навыков к исследованию энергосиловых параметров вспомогательных машин и механизмов прокатных станов.

ПРАВИЛА ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

1 Лабораторные работы выполняются в соответствии с графиком, который находится на доске объявлений кафедры.

2 К выполнению лабораторной работы допускаются студенты, ознакомившиеся с ее содержанием, изучившие соответствующие разделы теоретического курса и получившие положительные оценки при программном контроле подготовленности к лабораторной работе.

3 Работа выполняется в последовательности, указанной в разделе «Порядок выполнения работы».

4 После выполнения экспериментов студенты составляют отчет в соответствии с указаниями к каждой лабораторной работе.

5 В конце занятия студенты представляют отчет к защите.

6 При защите лабораторной работы студенты обязаны знать основные теоретические положения по данной работе, методику проведения работы, уметь анализировать полученные результаты.

7 К выполнению лабораторной работы допускаются студенты, прошедшие инструктаж по технике безопасности.

ПРАВИЛА ТЕХНИКИ БЕЗОПАСНОСТИ

1 Запрещается включать электрооборудование без разрешения преподавателя.

2 Нельзя опираться на лабораторные установки и без разрешения трогать их руками.

3 Запрещается уходить со своего рабочего места и переходить на другое без разрешения руководителя занятий.

4 Не разрешается включать в сеть приборы, не получив разрешения преподавателя или лаборанта.

5 Нельзя изучать конструктивные особенности оборудования и составлять кинематические схемы установок при включенном рубильнике.

6 При сборке электрических схем надо по возможности не допускать пересечения электропроводов и их натянутого состояния.

7 Во всех случаях обнаружения неисправного состояния оборудования следует сообщить об этом преподавателю и только после устранения неисправности продолжать работу.

8 Рабочее место необходимо содержать в чистоте и порядке.

9 После проведения лабораторной работы необходимо отключить электрооборудование от источников питания.

ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ ОТЧЕТА

1 Отчеты о лабораторных работах оформляются в специальной тетради в порядке очередности их выполнения и должны включать ответы на вопросы соответствующей лабораторной работы.

2 Схемы и графики выполняются карандашом с применением чертежных принадлежностей.

3 Элементы кинематических схем должны быть выполнены в соответствии с требованиями ЕСКД.

4 Графики рекомендуется чертить на миллиметровой бумаге. Значения аргумента следует откладывать по горизонтальной оси, а функции – по вертикальной.

5 Вдоль оси наносят масштабные шкалы, деления которых должны быть равномерными.

6 Отчет должен содержать выводы о проделанной лабораторной работе.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №9

ИЗУЧЕНИЕ КОНСТРУКЦИИ НОЖНИЦ С ПАРАЛЛЕЛЬНЫМИ НОЖАМИ И ГИЛЬОТИННОГО ТИПА И ИССЛЕДОВАНИЕ СИЛОВЫХ ПАРАМЕТРОВ РЕЗАНИЯ

Цель работы – изучить конструкцию и работу кривошипных ножниц и приобрести практические навыки экспериментального исследования ножниц и расчета усилия резания.

ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ

Для осуществления поперечной и продольной резки металла применяют ножницы двух основных типов: ножницы с параллельными ножами, ножницы с наклонным ножом (гильотинного типа).

Ножницы с параллельными ножами применяют для поперечного разрезания горячего металла: блюмов, слябов, сортовых заготовок прямоугольного сечения. Применяют их также для холодного резания профилей с помощью фасонных ножей. У этих ножниц режущие кромки параллельны друг другу.

Ножницы с наклонными ножами применяют для горячей и холодной резки листов, полос, сутунки, штрипсов и т.д., а также для разрезания мелких профилей пачками.

Процесс резания состоит из трех периодов (рис.1):

1 Вмятия ножей в металл (рис. 1, а, в). При этом усилие на ножи постепенно увеличивается до максимального значения P_{\max} . Длительность этого периода характеризуется коэффициентом ε_B , равным отношению глубины

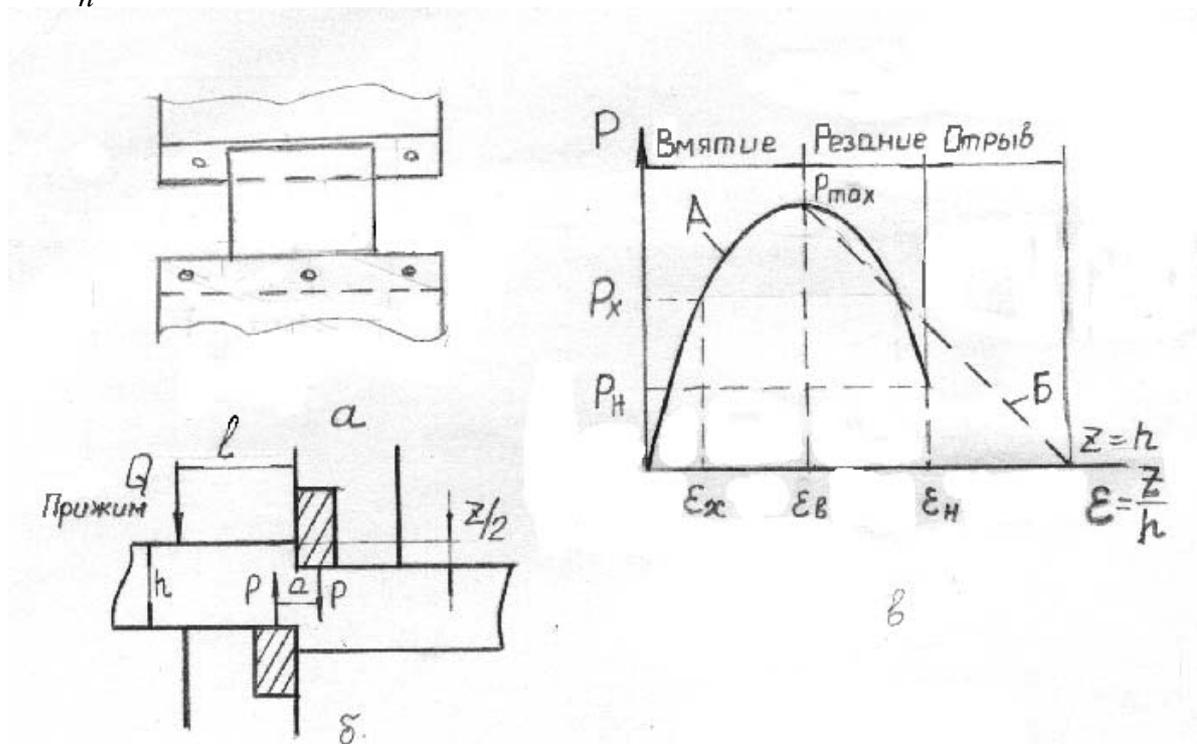
внедрения ножей в металл при вмятии $Z_в$ к исходной высоте сечения металла:

$$\varepsilon_в = \frac{Z_в}{h}$$

2 Собственно резания (сдвига металла на плоскости резания); при этом усилие резания уменьшается по мере уменьшения высоты (площади) сечения металла (рис. 1, в).

3 Скалывания (отрыва) оставшейся неразрезанной части сечения. Момент окончания собственно резания и начала скалывания (отрыва) характеризуется коэффициентом надреза $\varepsilon_н$, равным отношению глубины внедрения ножей в конце резания $Z_н$ (начало отрыва) к исходной высоте сечения металла, т.е.

$$\varepsilon_н = \frac{Z_н}{h}$$



А – экспериментальная кривая; Б – прямая на участке собственно резания
Рисунок 1 - Схема резания металла на ножницах с параллельными ножами (а, б) и измерение усилия на ножи (в) в зависимости от глубины внедрения ножей

$$\varepsilon_x = \frac{z_x}{h}$$

Максимальное усилие в конце периода вмятия равно усилию в момент начала резания (сдвига) металла по плоскости резания, поэтому можно считать, что

$$P_{\max} = \tau_{\max} F_{\text{рез}} = k_1 \sigma_в F_{\text{рез}},$$

где τ_{\max} – максимальное касательное сопротивление при резании (сдвиге) металла;

k_1 – коэффициент, равный отношению максимального сопротивления срезу к пределу прочности,

$$k_1 = \frac{\tau_{\max}}{\sigma_{\epsilon}} = 0,6 \dots 0,7 :$$

для мягких металлов – $k_1 = 0,7$,

для твердых металлов – $k_1 = 0,6$;

$F_{рез}$ – сечение металла в момент окончания вмятия ножей (начало собственно резания), высота сечения металла равна: $h - z = h(1 - \epsilon)$, поэтому площадь сечения, испытывающего напряжение среза, $F_{рез} = h(1 - \epsilon_{\epsilon})b$, где b – ширина разрезаемого металла;

ϵ_{ϵ} – коэффициент вмятия, определяется экспериментально. Поэтому расчетная формула максимального усилия резания будет иметь следующий вид:

$$P_{\max} = k_1 k_2 k_3 \sigma_{\epsilon} b h (1 - \epsilon_{\epsilon}),$$

где k_2 – коэффициент, учитывающий увеличение усилия резания при затуплении ножей в процессе длительной работы ножниц;

k_3 – то же при условии бокового зазора между ножами.

На основании практических данных можно принимать следующие значения этих коэффициентов:

при горячем резании $k_2 = 1,10 \dots 1,20$, $k_3 = 1,15 \dots 1,25$;

при холодном резании $k_2 = 1,15 \dots 1,25$, $k_3 = 1,20 \dots 1,30$.

Для случаев резания металла прямоугольного сечения (например, круга) его сечение необходимо привести к равновеликому по площади прямоугольному сечению, т.е. принять, что $F_{сеч} = b \cdot h$.

Усилие резания металла наклонными ножами

При резании металла на ножницах с одним наклонным ножом сопротивление резанию оказывает только некоторая небольшая часть поперечного сечения листа в виде треугольника ABC (рис.2).

Очевидно, что благодаря наклону ножа усилие резания значительно уменьшится. Кроме того, при погружении ножа в металл резание (сдвиг) происходит не по всему сечению треугольника, ABC, а только у вершины треугольника, по линии ED, наступает отрез (скалывание) металла.

Величина $Z = h - ED$ характеризует глубину надреза, при которой наступает отрыв, а отношение $\epsilon_H = Z_H / h$ называется относительной глубиной надреза и зависит от пластических свойств металла: $\epsilon_H = (1,2 \dots 1,6) \delta_5$, где δ_5 – относительное удлинение при испытании на растяжение образцов.

Таким образом, площадь трапеции ABED, оказывающей сопротивление резанию,

$$F_{mp} = \frac{h - (h - z)}{2} \frac{z}{\operatorname{tg} \alpha} \frac{2 - \epsilon_H}{2 \operatorname{tg} \alpha} \epsilon_H h^2,$$

а усилие резания

$$P = \tau_{cp} F_{mp},$$

где τ_{cp} – среднее сопротивление резанию (сдвигу) по сечению трапеции.

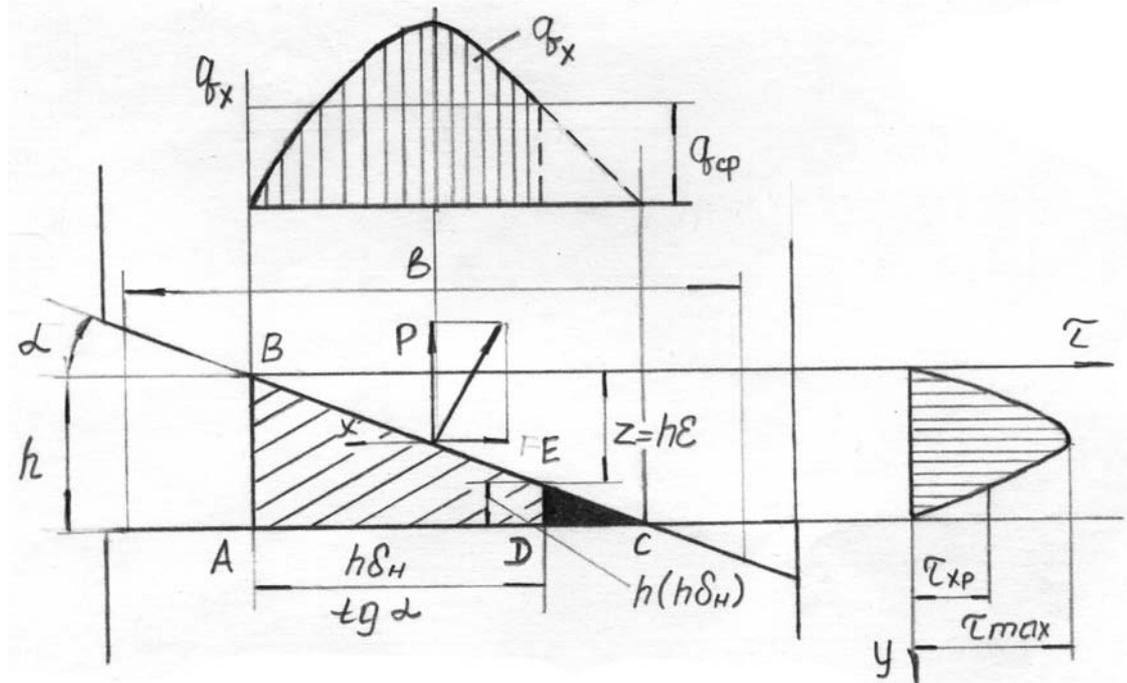


Рисунок 2 – Схема резания металла на ножницах с наклонными ножами

Введя коэффициенты k_1 , k_2 , k_3 , получим расчетную формулу для определения усилия резания:

$$P = k_1 k_2 k_3 \frac{2 - \varepsilon_H}{2 \operatorname{tg} \alpha} \varepsilon_H h^2 \sigma_s,$$

где $k_1 = \frac{\tau_{\max}}{\sigma_s} \approx 0,6 \dots 0,75$ – для мягких и твердых материалов соответственно;

$k_2 = 1,2 \dots 1,3$ – коэффициент, учитывающий повышение усилия при притуплении ножей;

$k_3 = 1,1 \dots 1,2$ – то же, при увеличении бокового зазора между ножами при длительном их использовании.

Так как в процессе резания верхний гильотинный нож отгибает вниз отрезаемую часть листа, то для совершения работы изгиба требуется дополнительное усилие. Это усилие учтем, принимая несколько повышенное значение коэффициента k_3 : $k_3 = 1,4 \dots 1,6$ (для углов наклона ножа $\alpha = 1,6 \dots 6^\circ$).

Значение ε_H для различных металлов приведено в таблице 1.

Конструктивные особенности ножниц с параллельными ножами

По конструкции ножницы поперечной резки с параллельными ножами можно разделить на две основные группы:

- 1) ножницы с верхним подвижным ножом (верхним резом),
- 2) ножницы с нижним подвижным ножом (нижним резом).

Ножницы с верхним резом просты по конструкции. Принцип их работы состоит в следующем: нижний нож установлен неподвижно в станине ножниц,

верхний нож укреплен в суппорте (ползуне) и при помощи кривошипного или гидравлического привода движется вниз и разрезает металл. Следует отметить, что этим ножницам свойственны два следующих недостатка:

1 После резки металла на нижней грани сляба (блюда, заготовки) образуется заусенец, который мешает при дальнейшем продвижении металла по рольгангу.

2 Резку металла можно осуществить лишь при наличии качающегося стола с ножницами, что усложняет конструкцию всей установки.

Таблица 1 - Экспериментальные значения коэффициентов вмятия $\varepsilon_{\text{в}}$ и надреза $\varepsilon_{\text{н}}$

Металл	Горячее резание		Холодное резание	
	$\varepsilon_{\text{в}}$	$\varepsilon_{\text{н}}$	$\varepsilon_{\text{в}}$	$\varepsilon_{\text{н}}$
Сталь 10	0,32...0,40	0,75...1,00	0,30	0,5
Сталь 20	0,30...0,35	0,75...0,95	0,25	0,35...0,45
Сталь 50	0,25...0,30	0,70...0,95	0,20	0,30...0,40
Сталь 50С2	0,23...0,28	0,65...0,90	0,20	0,25...0,30
Сталь 1Х18Н9Т	0,25...0,30	0,70...0,80	0,35	0,45
Сталь ШХ10	0,20...0,25	0,65...0,70	0,15	0,30
Медь	0,35	0,95	0,30	0,45
Цинк	0,30	0,70	0,20	0,40
Дюралюминий	0,25	0,50	0,15	0,25

Ножницы с нижним резом не имеют этих недостатков и поэтому получили более широкое применение. Принцип их работы заключается в следующем: нижний нож смонтирован на суппорте (ползуне), который может подниматься вверх от кривошипного или гидравлического привода, верхний нож установлен в верхнем суппорте (ползуне) и также может перемещаться по вертикали. Резание полосы осуществляется при движении нижнего ножа.

Резание полосы таким способом имеет следующие преимущества:

1 Полоса при резании находится выше уровня рольганга и потому нет необходимости в установке подъемно-транспортного стола.

2 При разрезании длинных кусков, находящихся со стороны верхнего ножа, часть полосы не изгибается.

Конструктивные особенности ножниц с наклонным ножом (гильотинные)

Гильотинные ножницы предназначены для резки листов, полосы (штрипсов), сутунки и мелкого сорта пачками.

По конструктивному исполнению их можно разделить на два типа: открытого и закрытого.

Ножницы открытого типа имеют короткие ножи и одну станину с боковым просветом, через который подается разрезаемый металл. Их применяют главным образом для резки сутунки и сортового металла в холодном состоянии, в последнем случае форма ножей соответствует профилю сечения разрезаемого металла. Верхний (подвижный) нож наклонный, с углом наклона $2...5^{\circ}$.

Ножницы закрытого типа имеют две станины, соединенные внизу траверсой, в просвете между станинами перемещается суппорт с ножом. Эти ножницы применяют для поперечной резки широких полос и листов в холодном, полуостывшем или горячем состоянии.

В зависимости от назначения ножницы закрытого типа конструктивно выполняют с верхним или нижним подвижным ножом. Ножницы с верхним подвижным ножом применяют главным образом как отдельно стоящие в прокатном цехе, а также в поточных линиях для поштучной резки листов на нужные размеры и обрезки боковых кромок листов. Ножницы с нижним подшипниковым валом обычно устанавливают в линии рольгангов прокатного стана или в агрегатах резки полосы, т.е. в поточных технологических линиях.

В ножницах с верхним подвижным ножом этот нож установлен наклонно, а нижний – горизонтально. Угол наклона применяют в пределах $1 \dots 6^\circ$ (чем больше толщина листа, тем больше угол наклона) с целью уменьшения усилия резания.

В ножницах с нижним подвижным ножом этот нож установлен прямо (а верхний наклонно, как в первом случае) или наоборот.

Практика показывает, что при резании верхним наклонным ножом полоса (лист) выгибается и рез получается косой; при резании нижним наклонным ножом полоса (лист) прижимается к верхнему прямому ножу и рез получается прямым (перпендикулярным). Поэтому на новых ножницах с нижним подвижным ножом этот нож устанавливают наклонно. Материал ножей – сталь марок 9Х, 5Х2ВС, 55ХНВ, 55ХН2Ф. Твердость после закалки – HRC 50...55.

МАТЕРИАЛЬНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ РАБОТЫ

- 1 Лабораторные установки кривошипно-шатунных ножниц с параллельными ножами.
- 2 Осциллограф с бумагой для записи процесса резания.
- 3 Усилитель.
- 4 Штангенциркуль, микрометр, линейка, оптический микрометр.
- 5 Образцы для испытания (лист, полоса).

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

- 1 Провести выверку параллельности ножей (для ножниц с параллельными ножами).
- 2 Определить угол наклона ножа (для ножниц гильотинного типа).
- 3 Замерить геометрические размеры разрезаемых образцов.
- 4 Произвести тарировку измерительной системы.
- 5 Построить тарировочный график зависимости $P = f(N)$, где P – усилие резания, Н; N – отклонение «зайчика» на экране осциллографа, мм.
- 6 Произвести порезку образцов с записью отклонения «зайчика» на осциллографе.
- 7 Произвести статистическую обработку результатов экспериментов.
- 8 Произвести теоретические расчеты усилия резания.

9 Определить максимальное значение удельного сопротивления резания.

10 Построить график изменения удельных усилий резания в зависимости от относительной глубины надреза: $\tau = f(\varepsilon_H)$.

11 Определить относительное расхождение между экспериментальными $P_{\text{экс}}$ и расчетными $P_{\text{расч}}$ величинами силы резания.

12 Результаты экспериментальных измерений и расчетов свести в таблицу 2.

13 Выполнить анализ полученных результатов.

Таблица 2 – Результаты исследования силы резания

№ эксперимента	Образец			P_{max} , Н		τ_{max} , Н/мм ²		$\frac{P_{\text{экс}} - P_{\text{теор}}}{P_{\text{экс}}} \cdot 100\%$	$\varepsilon_{\text{н экс}}$
	Материал	Толщина, мм	Ширина, мм	эксп.	теор.	эксп.	теор.		

Значения τ_{max} и $\varepsilon_{\text{н}}$ для различных материалов приведены в таблице 3 [1]:

Таблица 3 – Механические свойства материалов

Металл	τ_{max} , Н/мм ²	$\tau_{\text{max}}/\sigma_{\text{с}}$	$\varepsilon_{\text{н}}$
Сталь 20	380	0,70	0,35
Алюминий	70...80	0,55	-
Медь	160	0,80	0,42
Сплав Д16	130	-	0,13

СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

Отчет составляется в журнале лабораторных работ и должен содержать ответы на вопросы, а также включать:

- 1 Цель работы.
- 2 Краткие теоретические сведения.
- 3 Описание лабораторной установки. Привести кинематические схемы ножниц с параллельными ножами.
- 4 Данные, полученные при проведении лабораторной работы.
- 5 Анализ результатов работы.

ПРАВИЛА ТЕХНИКИ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ РАБОТЫ

- 1 Перед началом резки необходимо убедиться в надежном закреплении ножей.
- 2 Включение ножниц и работу производить с разрешения и под наблюдением преподавателя.
- 3 Убедиться в том, что все вращающиеся детали имеют защитные кожухи.

- 4 Убедиться в том, что все токоподводящие провода изолированы.
- 5 Проверить наличие заземления.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

- 1 В каких условиях целесообразно применять ножницы с параллельными и в каких – с наклонными ножами?
- 2 В чем состоят конструктивные особенности кривошипно-шатунных ножниц с верхним и нижним резом?
- 3 С какими ножницами получается выигрыш в силе и почему?
- 4 Как изменяется усилие резания при резке на параллельных и наклонных ножах?
- 5 От каких параметров зависит усилие резания?
- 6 Из какого материала изготавливают ножи ножниц холодного резания? Горячего резания?
- 7 Как влияет угол наклона ножа на усилие резания?
- 8 Чем характеризуются основные этапы процесса резания?
- 9 Что увеличивает коэффициенты k_1 и k_3 при порезке металла на параллельных ножах?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 10

ИЗУЧЕНИЕ КОНСТРУКЦИИ ДИСКОВЫХ НОЖНИЦ И ИССЛЕДОВАНИЕ ЭНЕРГОСИЛОВЫХ ПАРАМЕТРОВ РЕЗАНИЯ

Цель работы – изучить конструкцию и работу дисковых ножниц, приобрести практические навыки экспериментального исследования и расчета энергосиловых параметров процесса резания на дисковых ножницах.

ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ

Дисковые ножницы применяют для обрезки кромок у широких полос и резки этих полос вдоль на несколько узких. Режущим инструментом дисковых ножниц являются дисковые ножи. В зависимости от выполняемых операций ножницы могут иметь две пары ножей или более. Для обрезки кромок применяют двухпарные дисковые ножницы, а для роспуска широкой полосы – многопарные. Основными параметрами дисковых ножниц являются: диаметр ножей D , толщина дисковых ножей δ , допустимый угол захвата α и толщина разрезаемого металла h (рис.3).

Диаметр дисков ножей рассчитывают по формуле $D = \frac{h + \Delta}{1 - \cos \alpha}$, где перекрытие $\Delta = 1...3\text{мм}$ мм (чем толще полоса, тем меньше перекрытие ножей). Толщину диска принимают: $S = (0,06 - 0,10)D$. При $h > 10$ мм применяют отрицательное перекрытие с небольшим боковым (горизонтальным) зазором $\Delta = (0,05...0,08)\%$ (при резании полосы с толщиной менее 0,2 мм ножи устанавливают плотно, без зазора).

Ножи изготавливают из хромовольфрамовой стали марки 5ХВС с твердостью после термообработки 60HRC; угол заострения ножей принимают 90° (ножи строго цилиндрические). Разрезание металла на дисковых ножницах может происходить как при положительных, так и при отрицательных перекрытиях ножей. Отрицательные перекрытия ножей устанавливаются при разрезании не только толстых, но и тонких полос из высокопрочных и малопластичных материалов. Работа ножниц с отрицательными перекрытиями обеспечивает лучший захват полосы и лучшее качество реза.

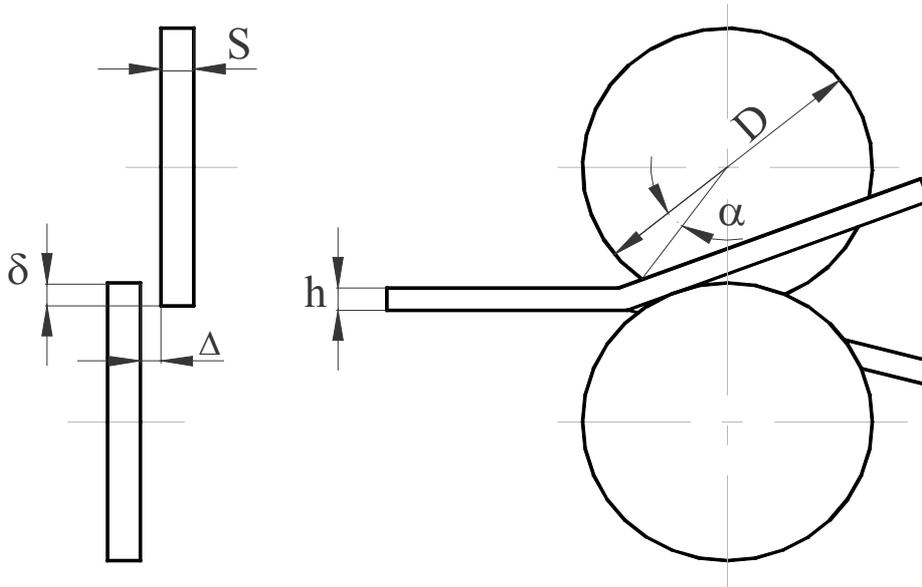


Рисунок 3.- Схема резания на дисковых ножницах

Максимальная толщина полос, разрезаемых на дисковых ножницах, ограничена 25 мм. Для разрезания полос большей толщины дисковые ножницы не изготавливаются, так как они становятся громоздкими и дорогостоящими. Экономически более целесообразно продольную резку толстых полос ($h > 25$ мм) производить на гильотинных ножницах.

Дуги AC и BC (рис.4) заменим соответствующими хордами; в таком случае процесс резания дисковыми ножами будет аналогичен процессу резания наклонными ножами.

При некотором перекрытии ножей S скалывание (отрыв) в сечении ED будет происходить при величине коэффициента относительного надреза сечения:

$$\varepsilon_n = 2 \frac{z/2}{h} = \frac{z}{h}.$$

Площадь среза (сдвига) равна площади трапеции ABDE:

$$F = \frac{h - h(1 - \varepsilon_n)}{2} \frac{h\varepsilon_n}{2\operatorname{tg}\alpha} = \frac{2 - \varepsilon_n}{4\operatorname{tg}\alpha} \varepsilon_n h^2.$$

По аналогии с формулой для гильотинных ножниц максимальное усилие резания дисковыми ножницами с одной парой ножей можно определить по формуле

$$P = \tau_{cp} F = k_1 k_2 k_3 \sigma_s \frac{2 - \varepsilon_n}{4 \operatorname{tg} \alpha} \varepsilon_n h^2.$$

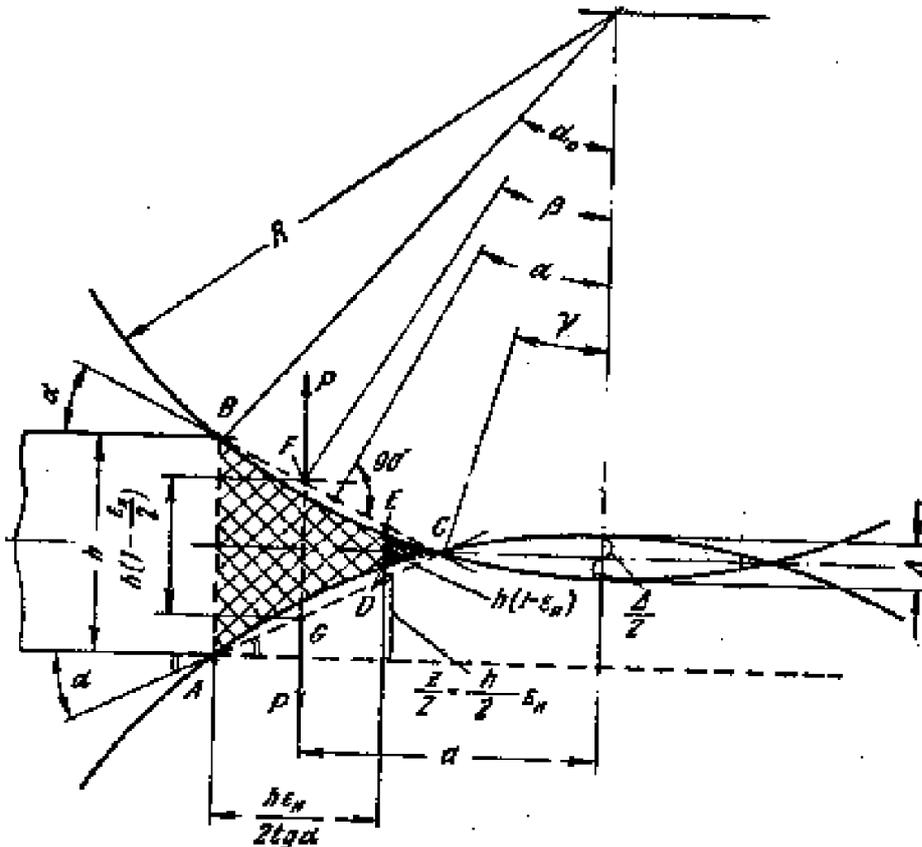


Рисунок 4 – Схема к определению усилия и момента резания на дисковых ножницах

Значения коэффициентов k_1, k_2, k_3 такие же, что и для случая резания на гильотинных ножницах:

$k_1 = \frac{\tau_{\max}}{\sigma_s} = 0,6 \dots 0,7$: для мягких металлов – $k_1 \approx 0,6$; для твердых металлов – $k_1 = 0,7$;

k_2 – коэффициент, учитывающий увеличение усилия резания при затуплении ножей в процессе длительной работы ножниц;

k_3 – то же при увеличении бокового зазора между ножами.

На основании практических данных можно принимать следующие значения этих коэффициентов:

при горячем резании – $k_2 = 1,1 \dots 1,2$; $k_3 = 1,15 \dots 1,25$;

при холодном резании – $k_2 = 1,15 \dots 1,25$; $k_3 = 1,2 \dots 1,3$.

Значения ε_n приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Экспериментальные значения коэффициентов вмятия ε_6 и надреза ε_n

Материал	Горячее резание		Холодное резание	
	ε_6	ε_n	ε_6	ε_n
Сталь 10	0,32...0,40	0,75...1,00	0,30	0,50
Сталь 20	0,30...0,35	0,75...0,95	0,25	0,35...0,45
Сталь 50	0,25...0,30	0,70...0,95	0,20	0,30...0,40
Сталь 55С2	0,23...0,28	0,65...0,90	0,20	0,25...0,30
Сталь 12Х18Н9Т	0,25...0,30	0,70...0,80	0,35	0,45
Сталь ШХ15	0,20...0,25	0,65...0,70	0,15	0,30
Медь	0,35	0,95	0,30	0,45
Цинк	0,30	0,70	0,20	0,40
Дюралюминий	0,25	0,50	0,15	0,25

Зная усилие резания одной парой ножей, нетрудно определить момент, который нужно приложить к обоим дискам для их вращения при резании. Резание металла одним диском происходит на участке дуги (хорды) ВЕ (в точке Е наступает скалывание – отрыв). Равнодействующие усилий на диски приложены посередине дуг ВЕ и АД, поэтому момент для вращения двух дисков равен: $M_{рез} = 2P_a$, где a – плечо приложения силы P , $a = R \sin \beta$, где β – угол приложения силы P , определяем из выражения

$$\cos \beta = 1 - \frac{h - (1 - \frac{\varepsilon_n}{2}) - \Delta}{2R};$$

$$\cos \beta = \sqrt{(h(1 - \frac{\varepsilon_n}{2}) - \Delta) / R},$$

при $\varepsilon_n = 0$ (скалывание без разрыва) – $\beta = \alpha_0$.

при $\varepsilon_n = 1$ (резание по всему сечению без скалывания) – $\beta = \alpha$.

Момент трения в опорах приводных валков при резании одной парой дисков

$$M_{тр} = P\mu d,$$

где μ и d – коэффициент и диаметр трения в подшипниках опор приводных валков, $\mu = 0,005$.

Мощность электродвигателя для привода ножниц, имеющих n пар дисков диаметром $D = 2R$, вращающихся с окружной скоростью V и угловой скоростью

$$\omega_n = \frac{V}{R} = \frac{2V}{D},$$

определим по следующей формуле (моменты выражены в килоньютона-метрах):

$$N = kn(M_{рез} + M_{тр}) \frac{\omega_n}{\eta},$$

где η – КПД привода ножиц (редуктора, шестеренной клетки, муфты), $\eta = 0,85 \dots 0,95$;

k – коэффициент, учитывающий потери мощности на трение дисков о разрезаемый металл, $k = 1,1 \dots 1,2$.

МАТЕРИАЛЬНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ РАБОТЫ

- 1 Лабораторная установка.
- 2 Штангенциркуль.
- 3 Щуп (0,3...0,05).
- 4 Усилитель, осциллограф.
- 5 Тарировочное устройство.
- 6 Образцы разрезаемых материалов.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

- 1 Измерить диаметр D и перекрытие Δ ножей, боковой зазор δ .
- 2 Измерить образцы.
- 3 Провести тарировку измерительной установки.
- 4 Провести разрезание образцов из различных материалов и измерение моментов резания при различных боковых зазорах ножей (по указанию преподавателя).
- 5 Измерить образцы после резания.
- 6 Построить тарировочный график зависимости $M_0 = f(\lambda)$, где M_0 – момент резания; λ – отклонение зайчика на осциллографе.
- 7 Провести обработку экспериментальных измерений.
- 8 Провести теоретические расчеты усилия и момента резания.
- 9 Проанализировать полученные результаты.
- 10 Результаты исследований и расчетов свести в таблицу 5.

Таблица 5 – Результаты исследований силы и момента резания

№ эксперимента	Образец			P_{max} , Н		$M_{рез} + M_{тр}$, Нм		$\frac{M_{экс} - M_{теор}}{M_{экс}} 100\%$	$N_{дв}$, кВт.
	Материал	Толщина, мм	Ширина, мм	эксп.	теор.	эксп.	теор.		

СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

Отчет составляется в журнале лабораторных работ и должен содержать ответы на вопросы пунктов 8 и 7, а также включать:

- 1 Цель работы.
- 2 Краткие теоретические сведения и основные параметры.

- 3 Описание лабораторной установки (привести ее кинематическую схему).
- 4 Данные, полученные при проведении лабораторной работы.
- 5 Анализ результатов работы.

ПРАВИЛА ТЕХНИКИ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ РАБОТЫ

- 1 Включение дисковых ножниц производить только с разрешения преподавателя.
- 2 Запрещается поддерживать и направлять образец в процессе резания.
- 3 Запрещается прикасаться к ножам при их вращении.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

- 1 Назначение и типы дисковых ножниц.
- 2 Выбор основных параметров ножниц.
- 3 Факторы, определяющие усилие и момент резания.
- 4 Факторы, определяющие качество резания полосы.
- 5 Определение усилия резания.
- 6 Определение момента для вращения двух дисков.
- 7 Определение момента трения в опорах приводных валов.
- 8 Выбор мощности электродвигателя для привода ножниц.
- 9 Значение коэффициентов k_1, k_2, k_3 в формуле для определения усилия резания.
- 10 Экспериментальные методы определения усилий и момента резания.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 11

ИЗУЧЕНИЕ КОНСТРУКЦИИ ЛЕТУЧИХ БАРАБАННЫХ НОЖНИЦ (НШС) И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЭНЕРГОСИЛОВЫХ ПАРАМЕТРОВ РЕЗАНИЯ

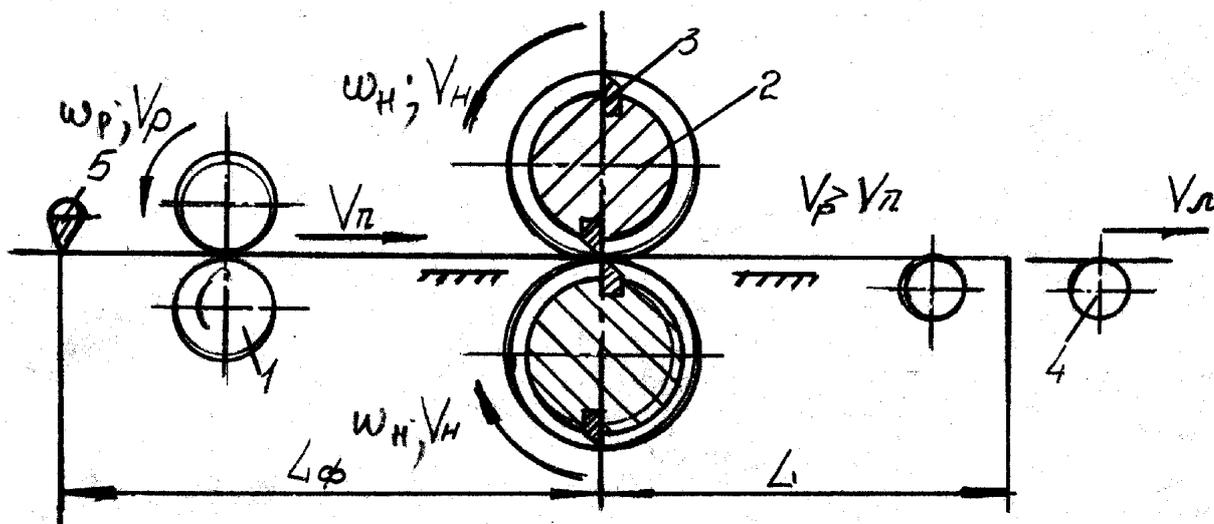
Цель работы – изучить конструкцию и работу летучих ножниц, приобрести практические навыки экспериментального исследования и расчета энергосиловых параметров процесса резания на барабанных летучих ножницах.

ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ

Барабанные (двухбарабанные) ножницы являются одной из первых машин для резания движущегося металла, весьма простой конструкции и надежной в эксплуатации.

Устройство и принцип работы этих ножниц состоит в следующем (рис.5). В пазах двух барабанов по их образующим закреплены ножи (по одному или по несколько на каждом барабане). Полоса двигается непрерывно и подается к ножницам подающими рольгангами (или валками последней клетки непрерывного стана) с постоянной скоростью $V_{п.}$

При встрече верхнего и нижнего ножей происходит резка полосы. Для создания разрыва между отрезанными листами скорость выходного рольганга должна быть больше скорости полосы перед ножницами: $V_p > V_n$.



1-подающие ролики; 2-барабанные ножницы; 3-ножи; 4-ролики рольганга; 5-фотореле

Рисунок 5 - Схема барабанных летучих ножниц

При резке металла барабанные летучие ножницы могут работать в двух основных режимах: периодических запусков и остановок; непрерывного вращения барабанов (непрерывный).

Режим периодических запусков применяют только в двух случаях: при обрезке короткого переднего конца полосы (некондиционного); при резке полосы на длинные куски с небольшой скоростью движения.

При отрезке переднего конца запуск ножниц осуществляется при помощи фотореле, установленного перед ножницами.

Требуемую длину переднего куска определяют по формуле

$$L = V_n t_{\text{разг}} - L_{\phi}$$

где $t_{\text{разг}}$ – время разгона ножниц от исходного положения барабанов до момента встречи ножей (известно из характеристики ножниц);

V_n – скорость движения полосы.

Если $V_n t_{\text{разг}} < L_{\phi}$, то фотореле следует установить за ножницами.

При непрерывном режиме полоса поступает к ножницам с постоянной скоростью V_n , а резание происходит периодически через каждые t_c , поэтому длина отрезаемых листов равна:

$$L = V_n t_c$$

где t_c – время между двумя последовательными резами.

Очевидно, что за время между двумя резами нож барабана совершит путь, равный $L_n = \pi D_n k$, где k – коэффициент пропуска реза; он характеризует число оборотов барабана за время между двумя резами.

При окружной скорости $V_n = \omega_n \frac{D_n}{2}$ промежуток времени между двумя резами составит

$$t = \frac{L_n}{V_n} = 2\pi \frac{k}{\omega_n},$$

тогда

$$L = 2\pi V_n \frac{k}{\omega_n}.$$

Таким образом, при постоянной скорости полосы ($V_n = \text{const}$) длина отрезаемого листа зависит от коэффициента пропуска реза и угловой скорости вращения барабанов ножиц.

Наиболее положительным будет такой процесс резания, когда горизонтальная составляющая скорости резания (окружной скорости ножа) на 2-3% (в среднем) больше скорости движения полосы, т.е.

$$V_{xn} = V_n \cos \varphi \approx (1...1,03)V_n.$$

В этом случае в момент резания полоса не будет изгибаться.

Изменение величины k осуществляется следующим способом: установкой различного числа ножей на барабанах; применением барабанов различного диаметра; применением специальных механизмов пропуска реза.

Каждую конкретную установку летучих ножиц проектируют для определенного сортамента листов по толщине (от h_{\min} до h_{\max}). Этот диапазон принимают в пределах $h_{\max} / h_{\min} = 4...6$.

Усилие и момент резания

Схема резания на летучих барабанных ножицах представлена на рис.6.

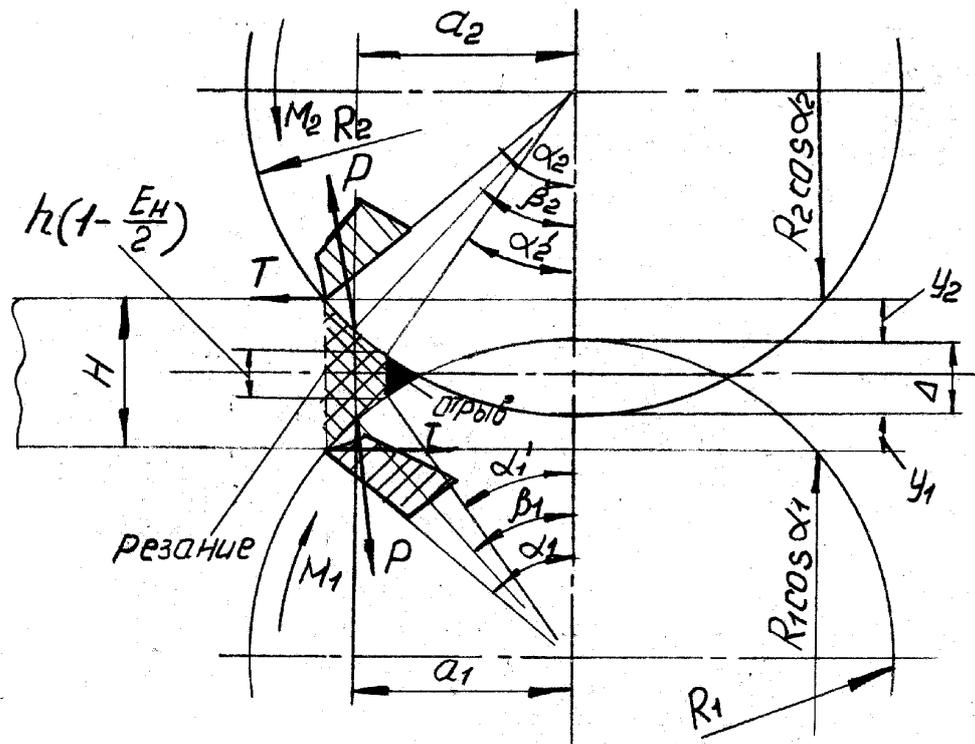


Рисунок 6 – Схема реза полосы на летучих барабанных ножицах

Поскольку на барабанных ножницах ножи установлены параллельно осям барабанов и резание происходит на небольших дугах траекторий ножей, можно считать, что ножи внедряются в металл навстречу один другому. Тогда максимальное усилие резания можно определить по формуле

$$P_n = k_1 k_2 k_3 \sigma_B B h (1 - \varepsilon_n)$$

при резании параллельными ножами;
при резании ножами, из которых один (верхний) наклонный,

$$P_n = k_1 k_2 k_3 \sigma_B \frac{2 - \varepsilon_n}{2 \operatorname{tg} \alpha} \varepsilon_n h^2,$$

при резании ножами, из которых один шевронный, $P_{ш} = 2P_n$,

где $k_1 = \tau_{\max} / \sigma_B \approx 0,6 \dots 0,7$;

k_2, k_3 - коэффициенты, учитывающие повышение усилия резания при затуплении ножей и увеличении бокового зазора между ними:

$$k_3 = 1,1 \dots 1,3; k_2 = 1,2 \dots 1,4;$$

α - угол наклона ножа;

$\varepsilon_n \approx \frac{\varepsilon_n}{2}$ - относительная глубина вмятия, при которой усилие резания и сопротивление резанию t_{cp} достигают максимальных значений (табл. 6);

ε_n - относительная глубина внедрения ножей, при которой происходит отрыв неразрезанной части металла;

Bh - площадь поперечного сечения разрезаемой полосы.

Распорное усилие между ножами $T = 0,2 P$, это усилие при подсчете момента резания можно не принимать во внимание (силы T направлены противоположно и их надо учитывать только при определении результирующего усилия на опорах барабана).

Таблица 6 - Экспериментальные данные коэффициентов вмятия ε_n и надреза ε_n

Металл	Горячее резание		Холодное резание	
	ε_n	ε_n	ε_n	ε_n
Сталь 10	0,32...0,40	0,75...1,00	0,30	0,50
Сталь 50	0,25...0,30	0,70...0,95	0,20	0,30...0,40
Сталь 55С2	0,23...0,28	0,65...0,90	0,20	0,25...0,30
Медь	0,35	0,95	0,30	0,45
Цинк	0,30	0,70	0,20	0,40
Дюралюминий	0,25	0,50	0,15	0,25

Определим углы начала и конца резания и угол приложения усилия резания P .

Ввиду незначительной величины этого угла примем, что усилия P направлены вертикально и плечи их приложения равны, т.е.

$$a_1 = a_2 = a_3 = R_1 \sin \beta_1 = R_2 \sin \beta_2.$$

Из рис. 5 следует, что при $y_1 + y_2 = h - \Delta$:

$$\begin{aligned} R_1 &= R_1 \cos \alpha_1 - (y_1 + \Delta); & R_1(1 - \cos \alpha_1) &= y_1 + \Delta; \\ R_2 &= R_2 \cos \alpha_2 - (y_2 + \Delta); & R_2(1 - \cos \alpha_2) &= y_2 + \Delta. \end{aligned}$$

Или

$$2R_1 \sin^2 \frac{\alpha_1}{2} + 2R_2 \sin^2 \frac{\alpha_2}{2} = h + D.$$

Так как

$$\frac{\sin \alpha_1}{\sin \alpha_2} = \frac{R_2}{R_1} \approx \frac{\sin \frac{\alpha_1}{2}}{\sin \frac{\alpha_2}{2}},$$

угол начала резания на барабане меньшего диаметра

$$2 \sin^2 \frac{\alpha_1}{2} R_1 \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right) = h + \Delta.$$

Аналогично получим формулы для углов окончания реза и приложения усилия Р:

$$\cos \alpha_1 = 1 - \frac{h(1 - \varepsilon_h) + \Delta}{R_1 \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right)}; \quad \cos \beta_1 = \frac{h(1 - \varepsilon_h/2) + \Delta}{R_1 \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right)}.$$

Для верхнего (большого) барабана эти формулы будут иметь вид:

$$\begin{aligned} \cos \alpha_2 &= 1 - \frac{h + \Delta}{R_2 \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right)}; \\ \cos \alpha_2' &= 1 - \frac{h(1 - \varepsilon_h) + \Delta}{R_2 \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right)}; \\ \cos \beta_2 &= 1 - \frac{h(1 - \varepsilon_h/2) + \Delta}{R_2 \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right)}. \end{aligned}$$

Очевидно, что $\beta_1 = \frac{\alpha_1 + \alpha_2}{2}$; $\beta_2 = \frac{\alpha_2 + \alpha_2'}{2}$.

Момент резания на нижнем барабане (ведущем)

$$M_1 = Pa - TR_1 \cos \beta_1.$$

Момент резания на верхнем (ведомом) барабане

$$M_2 = Pa + TR_2 \cos \beta_2;$$

то же, приведенный к оси нижнего (ведущего) барабана:

$$M_2 = M_2 \left(\frac{R_1}{R_2} \right) = Pa \left(\frac{R_1}{R_2} \right) = TR_2 \cos \beta_2 \left(\frac{R_1}{R_2} \right) = Pa \left(\frac{R_1}{R_2} \right) + TR_1 \cos \beta_2.$$

Суммарный момент резания на нижнем (ведущем) барабане (принимая $\beta_1 = \beta_2$)

$$M_{рез} = M_1 + M_2 = Pa + Pa \left(\frac{R_1}{R_2} \right) = Pa \left(1 + \frac{R_1}{R_2} \right).$$

Статический (без учета динамики) момент резания на валу нижнего (приводного) барабана

$$M_{ст} = \frac{M_{рез}}{\eta} = \frac{Pa}{\eta} \left(1 + \frac{R_1}{R_2} \right),$$

где η – коэффициент, учитывающий потери в зубчатом зацеплении шестерен привода барабанов и в подшипнике барабана.

МАТЕРИАЛЬНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ РАБОТЫ

- 1 Лабораторная установка.
- 2 Измерительные инструменты (штангенциркуль, микрометр, щуп 0,3...0,05 и др.).
- 3 Тарировочное устройство.
- 4 Усилитель, осциллограф.
- 5 Разрезаемые образцы (листовой прокат).

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

- 1 Изучить конструкцию и принцип работы лабораторной установки.
- 2 Измерить диаметр барабана D_6 , перекрытие ножей S и боковой зазор.
- 3 Измерить образцы.
- 4 Провести тарировку измерительной системы.
- 5 Построить тарировочный график.
- 6 Провести разрезание образцов и измерение моментов резания при различных материалах, при различных боковых зазорах и перекрытиях.

- 7 Измерить образцы после резания.
- 8 Произвести обработку экспериментальных данных.
- 9 Провести теоретические расчеты усилия и момента резания.
- 10 Результаты исследований и расчетов свести в таблицу 7.
- 11 Проанализировать полученные результаты.

Таблица 7 – Результаты исследования силы и момента резания

№ экспе- ри- мента	Образец			$M_{рез}$, кНм		P , кН		Расхождение результатов	
	Мате- риал	Тол- щина, мм	Ши- ри- на, мм	эксп. $M_э$	теор. $M_т$	эксп. $P_э$	теор. $P_т$	$\frac{M_э - M_т}{M_э}$	$\frac{P_э - P_т}{P_э}$

СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

Отчет составляется в тетради лабораторных работ в произвольной форме и должен содержать:

- 1 Краткие теоретические сведения об основных теоретических положениях.
- 2 Описание лабораторной установки, ее кинематической схемы и принципа работы.
- 3 Результаты экспериментального исследования и теоретические расчеты.
- 4 Расчетные и опытные данные.
- 5 Выводы.

ПРАВИЛА ТЕХНИКИ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ РАБОТЫ

- 1 Включение летучих барабанных ножниц производится только с разрешения преподавателя.
- 2 Запрещается поддерживать или поправлять образец в процессе резания.
- 3 Необходимо принимать все меры предосторожности при работе с быстровращающимися деталями.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

- 1 Для чего предназначены летучие барабанные ножницы? Их классификация.
- 2 В чем состоят конструктивные особенности летучих барабанных ножниц?
- 3 Опишите методику определения усилия и момента резания на летучих барабанных ножницах.
- 4 Перечислите и охарактеризуйте способы регулирования длины отрезаемых частей на летучих барабанных ножницах.
- 5 Приведите схему механизма выравнивания скоростей на летучих ножницах.
- 6 Из какого материала изготавливают ножи летучих ножниц?

7 На каких скоростях работают летучие барабанные ножницы?

8 Опишите методику проведения лабораторной работы.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 12

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СИЛОВЫХ ПАРАМЕТРОВ ПРАВКИ ПРОФИЛЕЙ НА ПРАВИЛЬНОМ ПРЕССЕ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕСТНОЙ И ОБЩЕЙ КРИВИЗНЫ ПРОКАТА

Цель работы – изучить теорию правки профилей изгибом и приобрести практические навыки исследования процесса правки.

ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ

Правильные прессы применяют для правки балок, рельсов и труб диаметром более 200...300 мм. Правильные прессы выполняют обычно кривошипными.

На рис.7 показан горизонтальный пресс для правки балок, установленный в линии рольганга после роликотправильной машины. Пресс правит балки и швеллеры только в горизонтальной плоскости. Левая линейка 1 устанавливается винтом в зависимости от размера сечения металла. Правая линейка 2 от кривошипного механизма совершает непрерывное возвратно–поступательное движение (ход 50 мм). В зависимости от направления кривизны металла реечным механизмом 3 поднимается левая призма 4 или правая 5, которые, прижимая металл к выступам на концах линеек, осуществляют правку.

Полагая, что при пластическом изгибе, как и при упругом, поперечные сечения остаются плоскими, деформации полосы по сечению считаем пропорциональными расстоянию z от нейтральной оси. В пределах расстояний z_0 от нейтральной оси деформации будут упругими, а за пределами z_0 – пластическими (рис.8,а).

Для упрощения пренебрегаем упрочнением, а напряжения в зоне пластической деформации принимаем постоянными и равными пределу текучести (рис.8,б).

В этом случае момент внутренних сил при изгибе прямоугольного сечения шириной b выразится формулой

$$M = \sigma_s b \left(\frac{h^2}{4} - \frac{z_0^2}{3} \right).$$

Чтобы выпрямить полосу с исходной кривизной $1/\rho$ (рис.9), ее следует изогнуть в обратную сторону с такой кривизной $1/\rho$, которая после снятия нагрузки уничтожится действием упругих сил, и полоса станет прямой.

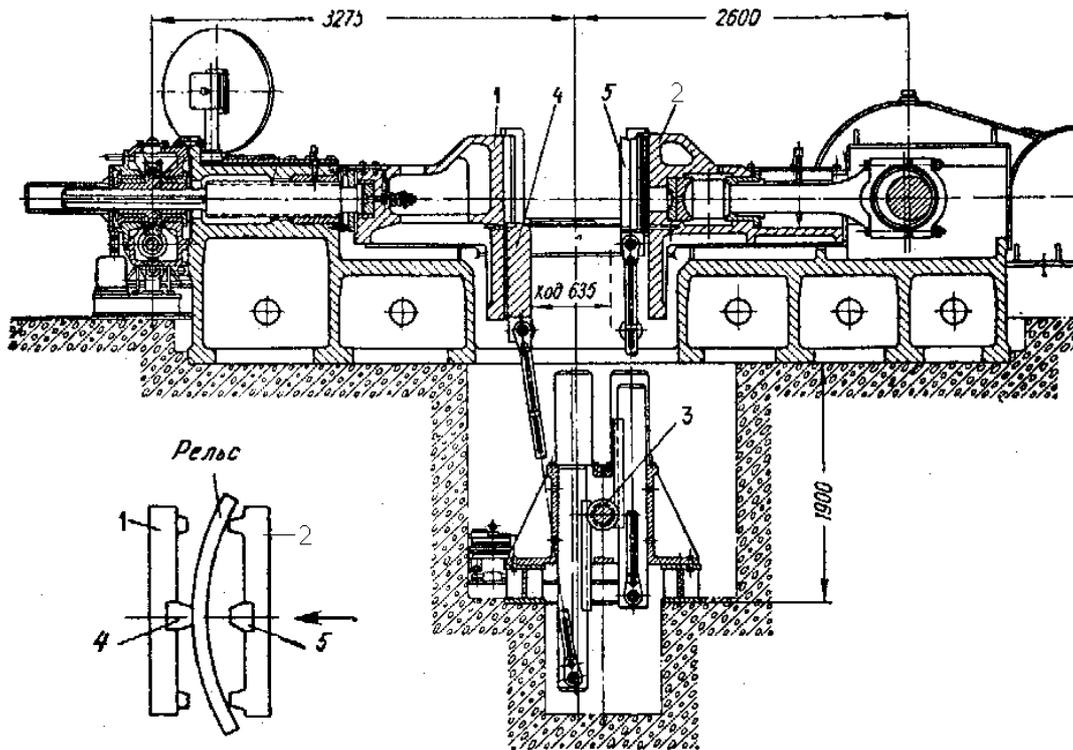


Рисунок 7 – Горизонтальный пресс для правки балок

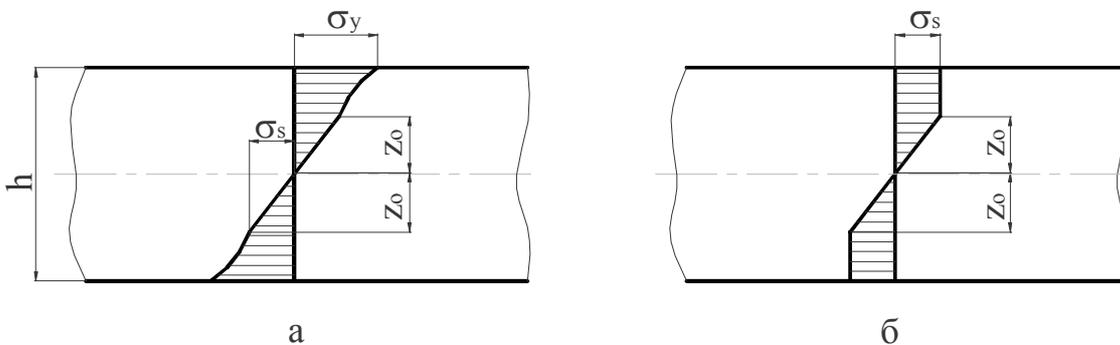
Координату z_0 определяют по зависимости

$$z_0 = \frac{\sigma_s}{E} \frac{1}{\frac{1}{r} + \frac{1}{\rho}}$$

где $\rho = \frac{EI}{M}$,

где E и I – модуль упругости материала полосы и момент инерции поперечного сечения;

M – момент упругих сил.



σ_s – предел текучести материала полосы; σ_y – напряжения в полосе с учетом упрочнения

Рисунок 8 – Эпюра напряжений при упругопластическом изгибе материала полосы

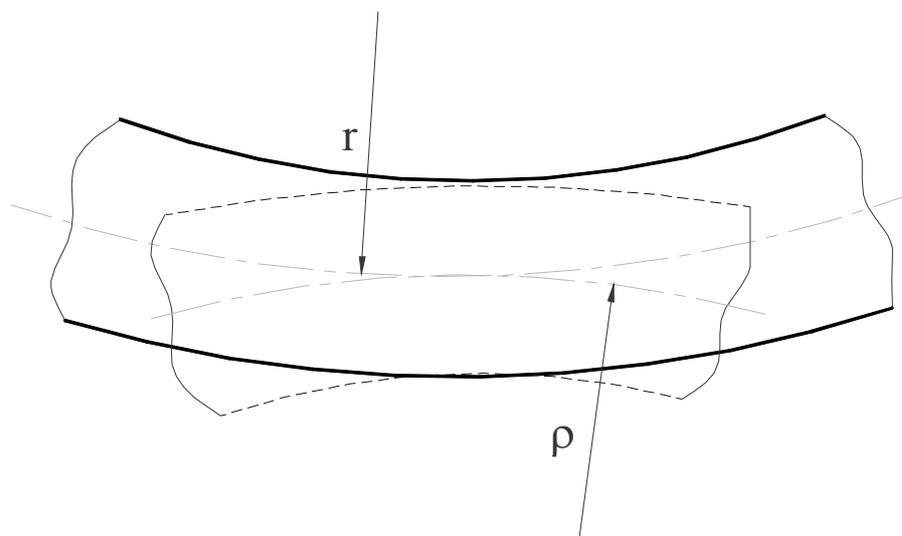


Рисунок 9 – Радиусы кривизны выпрямляемой полосы в зоне деформации.

МАТЕРИАЛЬНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ РАБОТЫ

- 1 Лабораторная установка.
- 2 Штангенциркуль.
- 3 Масштабная линейка $l=1$ м.
- 4 Микрометр.
- 5 Прямоугольный брус $l=1$ м различного поперечного сечения в пределах $b=10\dots30$ мм, $h=15\dots40$ мм из алюминия или его сплавов.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

- 1 Измерить размеры выпрямляемого бруса и его кривизну.
- 2 Выполнить правку бруса на правильном прессе, при этом экспериментально определить величину обратного прогиба бруса, соответствующего упругому восстановлению.
- 3 Снять показания усилия правки.
- 4 Рассчитать радиус кривизны ρ упругого восстановления.
- 5 Рассчитать координату z_0 .
- 6 Рассчитать момент упругого пластического изгиба.
- 7 Рассчитать усилие правки.
- 8 Занести экспериментальные и расчетные данные в таблицу 8.

Таблица 8 – Результаты исследований правки профиля

№ эксперимента	Образец			Усилие правки P , Н		Кривизна $\frac{1}{\rho}$	
	Материал	Толщина	Ширина	экспер.	теор.	исходная	остаточная

СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

Отчет составляется в журнале лабораторных работ и должен содержать ответы на контрольные вопросы, а также включать:

- 1 Цель работы.
- 2 Краткие теоретические сведения.
- 3 Описание лабораторной установки и методики проведения эксперимента.
- 4 Данные, полученные при проведении лабораторной работы.
- 5 Анализ результатов работы.

ПРАВИЛА ТЕХНИКИ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ РАБОТЫ

- 1 Перед нагружением образца убедиться в правильности его установки на опоры.
- 2 При работе с контрольно – измерительной аппаратурой соблюдать правила электробезопасности, до включения приборов убедиться, что все токоподводящие провода изолированы.
- 3 Проверить наличие заземления.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

- 1 Для чего применяют правильные прессы?
- 2 Какие типы правильных прессов используют в прокатных цехах?
- 3 Что такое упругопластический изгиб?
- 4 Привести примеры эпюр распределения напряжений при правке.
- 5 Как рассчитать момент упругопластического изгиба полосы при правке?
- 6 Как рассчитать усилие правки на прессе?
- 7 Что такое местная и общая кривизна проката и в каких единицах измеряется?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 13

ИЗУЧЕНИЕ КОНСТРУКЦИИ РОЛИКОВОЙ ПРАВИЛЬНОЙ МАШИНЫ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЭНЕРГОСИЛОВЫХ ПАРАМЕТРОВ ПРАВКИ ПОЛОС

Цель работы – изучить конструкцию роликовой листопрямительной машины и приобрести практические навыки исследования процесса правки.

ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ

Листопрямительные многороликовые машины разделяются на две группы: с параллельным (рис.10) расположением роликов и наклонным. На первых осуществляют правку толстых (свыше 12 мм) и в некоторых случаях предварительную правку тонких листов, на вторых – правку тонких листов и полосы (до 4 мм).

На машине с параллельным расположением роликов лист прогибается одинаково под всеми роликами. В машине с наклонными роликами лист получает больший прогиб между первыми роликами; дальше по мере продвижения листа прогиб его уменьшается и у последних роликов кривизна (коробоватость, волнистость) полностью выправляется – в этом состоит преимущество правки листов (полосы) на этих машинах по сравнению с правкой на машинах с параллельным расположением роликов.

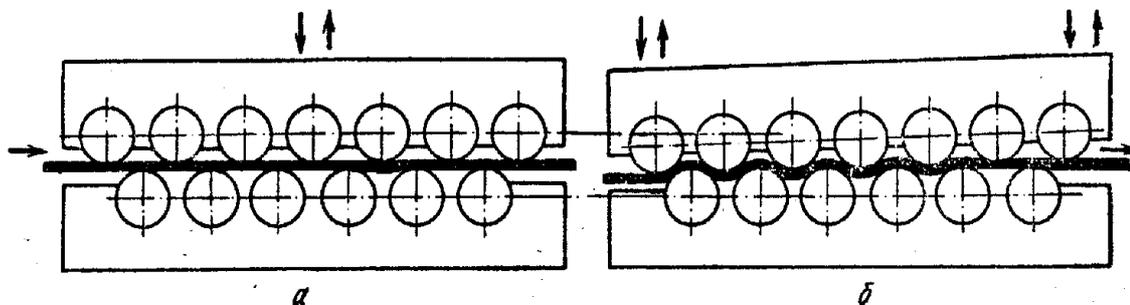


Рисунок 10 – Схемы листоправильных машин с параллельным (а) и наклонным (б) расположением роликов

Основными параметрами листоправильных многороликовых машин являются: диаметр роликов D ; шаг роликов t ; количество роликов n ; длина бочки роликов L ; толщина h листов, подвергаемых правке на данной машине.

Скорость правки выбирают в зависимости от производительности машины и толщины листов. На основании практических данных можно принимать следующие значения скорости правки: для тонких листов (0,5 - 4 мм) – 6 - 0,5 м/с; для толстых листов (4 - 30 мм) при холодной правке – 0,5 - 0,1 м/с и при горячей – 1,0 - 0,3 м/с.

Качество правки зависит также от качества поверхности рабочих роликов и степени их износа. Так как при холодной правке износ роликов зависит от контактных напряжений, то эти напряжения не должны быть очень большими. Ориентировочно их можно определить по формуле Герца, предполагая, что упругодеформируемый ролик (цилиндр) радиусом R и длиной бочки L лежит на несжимаемой плоскости (листе) и нагружен силой P_3 :

$$\sigma_{\text{конт}} = 0,418\sqrt{P_3 E / \nu R} \leq 2\sigma_t,$$

где ν – ширина листа;

R – радиус ролика;

E – модуль упругости материала ролика;

σ_t – предел текучести материала листа, подвергаемого правке;

P_3 – максимальное усилие на ролик.

Максимальное усилие при правке испытывает 3-й ролик:

$$P_3 = \frac{8M_n}{t} = 2\sigma_t \frac{\epsilon h^2}{t},$$

где M_n – момент пластического изгиба полосы;

h – толщина полосы.

Полное усилие, действующее на все ролики листопрямительной машины, можно вычислить по формуле

$$P = 5/3(n-2)\sigma_t \frac{\epsilon h^2}{t},$$

где t – шаг роликов;

n – число роликов.

Рабочие и опорные ролики изготавливают из стали марок 9Х, ШХ15, 12ХН22 (последняя – для роликов диаметра менее 90 – 100 мм), имеющей повышенную прочность, высокую твердость и повышенное сопротивление изнашиванию. Бочки роликов подвергают поверхностной закалке с нагрева токами промышленной или высокой частоты до твердости HRC 55...65. Ролики для горячей правки изготавливают из среднеуглеродистой стали и наплавляют твердыми сплавами. Мощность и крутящий момент на всех $(n - 2)$ роликах (кроме первого и последнего, которые не изгибают полосу) при правке полосы со скоростью V можно определить по формулам:

$$N_{\text{деф}} = \frac{\sigma_T^2}{2E} V t \epsilon k_{\text{деф}}; \quad M_{\text{деф}} = \frac{\sigma_T^2}{4E} \epsilon h D k_{\text{деф}},$$

где $k_{\text{деф}}$ – результирующий (суммарный) коэффициент пластической деформации при правке полосы,

$$k_{\text{деф}} \approx k_2^2 \left[\frac{1}{1-k_2} + k_2(n-3) \right],$$

где $k_2 = 0,6...0,8$ – коэффициент проникновения пластической деформации под вторым роликом.

При определении мощности электродвигателя для привода правильной машины кроме мощности деформации пластического изгиба необходимо учесть потери мощности на трение в подшипниках $N_{\text{подш}}$ и мощности трения качения роликов по полосе $N_{\text{кач}}$ для всех n роликов, а также η – КПД редуктора и шестеренной клетки, имеющих в линии привода машины:

$$N_{\text{ДВ}} = (N_{\text{деф}} + N_{\text{подш}} + N_{\text{кач}}) / \eta.$$

Мощность потерь на трение в подшипниках всех n рабочих роликов

$$N_{\text{подш}} = M_{\text{тр}} \omega = P \mu d / 2\omega,$$

где μ – коэффициент трения в подшипниковых опорах роликов:

для шариковых подшипников – $\mu = 0,003$; для роликовых – $\mu = 0,005$; для игольчатых – $\mu = 0,01$; для подшипников скольжения – $\mu = 0,08...0,1$;

d – диаметр трения в подшипниковых опорах;

ω – угловая скорость вращения роликов.

В том случае, когда рабочие ролики опираются на опорные, следует принимать, что все усилия P передаются от рабочих роликов опорным (т.е. опоры рабочих роликов полностью разгружены).

Мощность трения качения роликов по полосе

где m – коэффициент трения качения, с учетом возможного проскальзывания между роликами и полосой следует принимать: для стальной полосы – $m = 0,8 - 1$ мм; для полосы из цветных металлов – $m = 0,09-12$ мм.

МАТЕРИАЛЬНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ РАБОТЫ

- 1 Установка листопрямительной машины.
- 2 Полоса из медно – цинковых сплавов, стали 08 кп в рулонах. Ширина полосы – 60...120 мм. Толщина – 0,8...1,5 мм.
- 3 Мерительный инструмент: линейка, штангенциркуль, микрометр.
- 4 Тензометрическая аппаратура.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1 Прежде чем приступить к работе, необходимо ознакомиться с инструкцией, материальной частью, измерительным инструментом, техникой безопасности.

2 Изучить конструкцию листопрямительной машины, составить ее кинематическую схему.

3 Изучить конструкцию основных механизмов прямой машины, заэскизировать ряд деталей и узлов по указанию преподавателя.

4 Выполнить эксперименты по правке листов, с помощью тензометрической аппаратуры зафиксировать основные энергосиловые параметры процесса правки. Результаты экспериментальных исследований занести в таблицу 9.

5 Рассчитать усилия правки и мощность привода листопрямительной машины и сравнить их с экспериментальными данными.

Таблица 9 – Результаты исследования процесса правки на роликопрямительной машине

№ экс-перимента	Материал и размеры заготовки $H \times b \times l$, мм	Натяжение	Длина базы до правки l_p , мм	Длина базы после правки l_1 , мм	Вытяжка l_1/l_0	Суммарное усилие на ролики		$\frac{P_{\text{э}} - P_m}{P_{\text{э}}} \cdot 100\%$
						эсп. $P_{\text{э}}$	теор. P_T	

СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

Отчет составляется в журнале лабораторных работ и должен содержать ответы на контрольные вопросы, а также включать:

- 1 Цель работы.
- 2 Краткие теоретические сведения.
- 3 Схему и описание экспериментальной установки.
- 4 Эскизы деталей правильной машины по указанию преподавателя.
- 5 Методику проведения экспериментов.
- 6 Результаты экспериментов.
- 7 Анализ полученных результатов (выполняется с использованием ЭВМ).

ПРАВИЛА ТЕХНИКИ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ РАБОТЫ

1 Перед началом работы на пульт управления правильной машиной повесить табличку «Не включать, работают люди».

2 При нанесении базовых меток на полосу натяжение в полосе необходимо уменьшить до нуля. После нанесения меток студенты должны отойти от зоны прокатки и занять места за пультом управления. После этого натяжение может быть увеличено.

3 Запрещается включать правильную машину без разрешения преподавателя.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1 Как классифицируются листоправильные машины по схеме настройки верхнего ряда роликов?

2 Как рассчитать усилия на ролики листоправильной машины?

3 Как рассчитать мощность привода листоправильной машины?

4 В чем состоит методика проведения экспериментов на листоправильной машине?

5 Как выполнить тарировку экспериментальной установки?

6 В чем заключается методика статистической обработки экспериментальных данных?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №14

ИЗУЧЕНИЕ КОНСТРУКЦИИ МАШИНЫ ДЛЯ ПРАВКИ ПОЛОСЫ РАСТЯЖЕНИЕМ С ИЗГИБОМ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЭНЕРГОСИЛОВЫХ ПАРАМЕТРОВ ПРАВКИ

Цель работы – изучить конструкцию машины для правки полосы растяжением с изгибом и приобрести практические навыки исследования процесса правки.

ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ

Для правки полос растяжением с изгибом используют два типа правильных машин:

- машины для циклической правки;
- машины для непрерывной правки.

Для циклической правки листов и полос растяжением с изгибом используют растяжные машины с роликовой правильной клетью, совершающей возвратно – поступательное движение между зажимными головками. Принципиальная схема такой машины для правки листов изображена на рис. 11. На станине смонтированы установочная 1 и растягивающая 2 зажимные головки. Установочная головка 1 может перемещаться посредством винтового механизма 3, приводимого от электродвигателя 4 через зубчатые передачи 5. Растягивающая головка 2 соединена с гидроцилиндрами 6. Каретка 7 перемещается по размещенным на станине рельсам 8 при помощи ходовых винтов 9, приводимых от двигателей 10 через ременную 11 и зубчатую 12 передачи. Лист или лента 13 устанавливается между зажимными головками, растягивается зажимной головкой 2, а закрытая правильная клеть 7, двигаясь вдоль полосы, производит правку знакопеременным изгибом.

Преимуществом процесса правки растяжением с изгибом является создание в полосе пластических деформаций за счет суммирования напряжений растяжения и изгиба (рис. 12), при этом напряжения растяжения не достигают предела текучести полосы, а напряжения изгиба локализуются в узкой области роликовой правильной клетки, благодаря чему уменьшается отрывность полосы, появляется возможность правки тонких полос из высокопрочных материалов при использовании роликов сравнительно большого диаметра.

МАТЕРИАЛЬНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ РАБОТЫ

- 1 Установка для правки полос растяжением с изгибом.
- 2 Штангенциркуль.
- 3 Микрометр.
- 4 Полоса 0,5x30x5000 мм.
- 5 Грузы для создания натяжения $G_{гр} = 5кг - 10шт.$

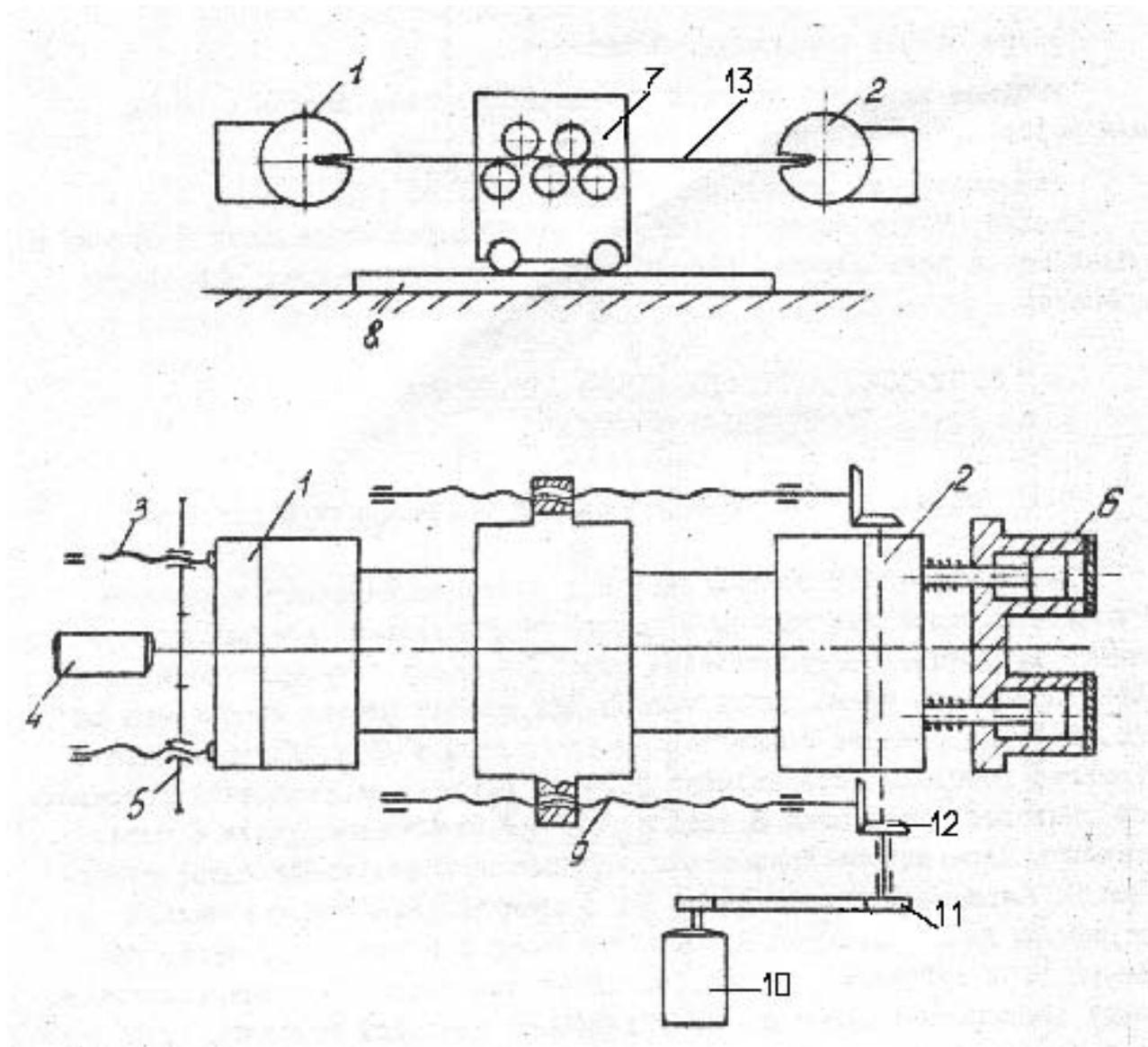
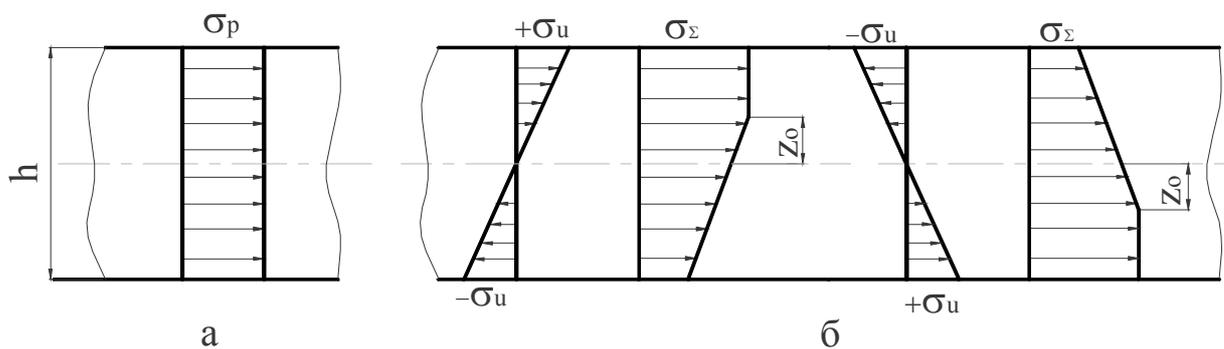


Рисунок 11 – Машина для циклической правки растяжением с изгибом



а – эпюра напряжения растяжения, создаваемая головками машины;
 б – эпюра напряжений изгиба, создаваемых роликовой правильной машиной под i и $i=1$ роликами;

в – суммарная эпюра напряжений в полосе i и $i=1$ роликами; z_0 – координата, определяющая место перехода напряжений упругого изгиба в зону пластического деформирования.

Рисунок 12 – Напряженное состояние металла в зоне правки растяжением с изгибом

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1 Прежде чем приступить к работе, необходимо ознакомиться с инструкцией, материальной частью, измерительным инструментом, техникой безопасности.

2 Изучить конструкцию машины для правки растяжением с изгибом.

3 Нанести базовые метки на полосу.

4 Рассчитать требуемую массу груза для создания напряжений растяжения, достигающих $0,3\sigma_s$; $0,5\sigma_s$ и $0,7\sigma_s$.

5 Нагрузить установку соответствующими грузами и проверить наличие пластических деформаций по контрольным меркам.

6 Привести в движение роликовую правильную машину и повторно проконтролировать наличие пластических деформаций в каждом из 3 случаев нагружения.

7 Результаты экспериментов занести в таблицу 10.

8 Выполнить теоретические расчеты эпюр нагружения полосы и сравнить их с результатами эксперимента.

Таблица 10 – Результаты исследования процесса правки

№ эксперимента	Нагружение σ_p	База до нагружения растяжением	База после нагружения растяжением	База после правки изгибом	Относительная деформация	Результат правки (плоскостность МОН)
1						
2						
3						

СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

Отчет составляется в журнале для лабораторных работ и должен содержать ответы на вопросы, а также включать:

1 Цель работы.

2 Краткие теоретические сведения.

3 Описание лабораторной установки.

4 Результаты экспериментов.

5 Необходимые расчеты.

6 Анализ результатов.

ПРАВИЛА ТЕХНИКИ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ РАБОТЫ

1 Перед началом работы ознакомиться с настоящими правилами и прослушать инструкции преподавателя.

2 При работе с грузами соблюдать меры безопасности, не ронять грузы, беречь ноги.

3 При работе с полосой не прикасаться к ее кромкам с целью исключения порезов.

4 При перемещении правильной машины вдоль полосы пользоваться специальным тянущим устройством, не перемещать ее руками с целью исключения порезов.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

- 1 Какие напряжения возникают в полосе при правке растяжением с изгибом?
- 2 В чем преимущество правки полос растяжением с изгибом?
- 3 Какие применяют способы правки полос растяжением с изгибом?
- 4 В чем состоит методика проведения лабораторной работы?
- 5 Как в лабораторной работе экспериментально определяется вытяжка полосы при правке?
- 6 Как рассчитать нагрузку на ролики правильной машины?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 15

ИЗУЧЕНИЕ КОНСТРУКЦИИ МОТАЛКИ РЕВЕРСИВНОГО СТАНА ХОЛОДНОЙ ПРОКАТКИ ПОЛОС 55/260 X 200 И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЭНЕРГОСИЛОВЫХ ПАРАМЕТРОВ СМОТКИ ПОЛОС

Цель работы – изучить конструкцию и работу моталки, приобрести практические навыки экспериментального исследования моталок.

ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ

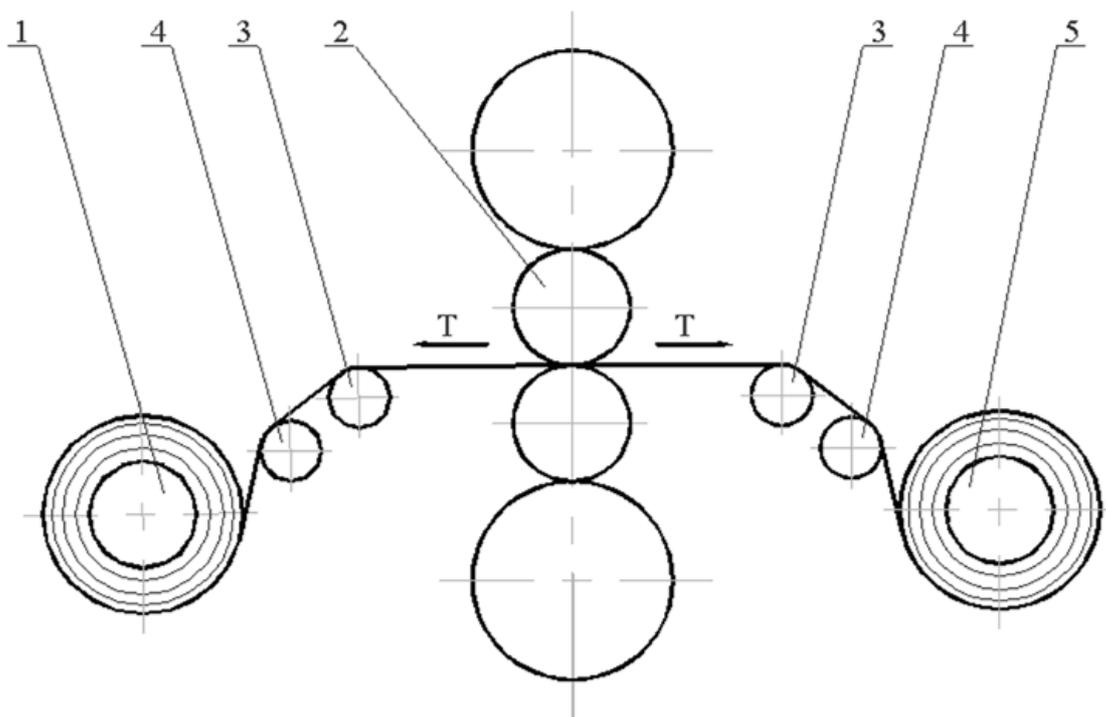
Моталки с намоточно-натяжным барабаном применяют при холодной прокатке полос в рулонах для намотки (смотки) полос со значительным натяжением.

У нереверсивных станов моталки устанавливают за рабочей клетью, а у реверсивных – по обе стороны от клетки (рис. 13). При первом проходе полоса подается в клетку с разматывателя, небольшое заднее натяжение при этом создается прижимными колодками или роликовыми проводками, а переднее натяжение – барабаном моталки. При этом как смотка полосы с одного барабана, так и намотка ее на другой происходят с натяжением, которое снижает усилие прокатки, уменьшает коробоватость полосы, обеспечивает плотность рулона и правильное наматывание полосы на барабан.

Удельное натяжение, создаваемое в полосе, находится в пределах $(0,1 \dots 0,8) \sigma_s$, где σ_s – предел текучести материала. При прокатке сравнительно толстых полос (толщиной 2...5 мм) удельное натяжение находится в пределах $(0,1 \dots 0,3) \sigma_s$, а при прокатке тонких полос (толщиной 0,3...1,0 мм) – $(0,5 \dots 0,8) \sigma_s$.

Привод барабана моталок осуществляется от отдельных двигателей постоянного тока, схемой управления которых предусмотрено поддержание постоянства натяжения полосы в процессе прокатки.

Моталка с намоточно-натяжным барабаном состоит из следующих основных частей: барабана, станины, привода, съемного устройства, откидной опоры.



- 1 – моталка левая; 2 – рабочая клеть;
- 3 – ролики измерителей напряжения; 4 – обводящие ролики;
- 5 – моталка правая

Рисунок 13 – Схема расположения моталок у стана холодной прокатки

Обязательным для барабана моталки является устройство для изменения его диаметра, обеспечивающее увеличение диаметра барабана на период намотки (смотки) полосы и уменьшение его при снятии рулона.

Барабан моталки состоит из консольного вала, установленного на двух опорах на подшипниках качения, механизма изменения диаметра барабана и механизма зажима переднего конца полосы. На станах холодной прокатки при смотке полос шириной более 900 мм применяют полноопорные валы, при этом опора со стороны разгрузки рулонов делается откидной (убирается при разгрузке моталки).

При намотке тонких полос (менее 1 мм) механизм зажима переднего конца полосы не делают. Захват переднего конца полосы и намотка первых витков на барабан осуществляются с помощью специального устройства – свертывателя ременного типа. Заправка полосы на барабан при этом осуществляется на валу, но прокатка с натяжением ведется только после образования на барабане нескольких витков.

На практике получили распространение конструкции барабанов, имеющие 2...4 подвижных сегмента. Исполнительные механизмы, обеспечивающие изменение диаметра барабана, выполняются клинового – кулачкового, серьгового, пирамидального типов. Диаметр барабана выбирается в зависимости от толщины, ширины и массы рулона. Наибольшее

распространение получили барабаны диаметром 400, 500, 750 мм, причем с целью обеспечения возможности передачи рулонов с одного стана на другой в пределах одного цеха диаметры барабанов моталок и разматывателей станков и агрегатов, связанных между собой технологическим процессом, унифицируют. Длина рабочей части барабана принимается на 50..100 мм больше длины бочки рабочих валков прокатной клетки.

МАТЕРИАЛЬНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ РАБОТЫ

- 1 Моталки прокатного лабораторного стана.
- 2 Линейки.
- 3 Рулетка.
- 4 Штангенциркуль.
- 5 Исходная заготовка – полоса из углеродистой стали.
- 6 Общий вид моталки (чертеж).
- 7 Барабан моталки (чертеж).

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1 Изучить устройство подшипников моталки (барабана, съемного устройства, исполнительного механизма изменения диаметра барабана и зажима переднего конца полосы).

2 Изучить работу механизмов моталки при отсутствии рулона (провести сжатие, разжатие барабана, осуществить рабочий и холостой ход сталкивателя рулонов).

3 Провести замеры: диаметра барабана в сжатом и расжатом состоянии; угла поворота вала барабана при изменении диаметра барабана (сверить его с проектным углом поворота); максимального хода кулачка механизма зажима переднего конца полосы; максимального хода сталкивателя рулонов.

4 Провести заправку переднего конца полосы в моталку, зажав его кулачками, разжатие барабана, намотку 1...2 витков полосы.

5 Провести одевание рулона на барабан моталки.

6 Закрепить рулон на барабане путем расжатия барабана и зажима заднего конца полосы кулачками механизма зажима.

7 Снять рулон с барабана моталки с помощью съемного устройства.

8 Заполнить таблицу 9 данными, характеризующими параметры моталки.

Таблица 11 – Результаты исследования процесса смотки полос

№ п/п	Размеры барабана			a, мм	φ , ...°	l _{max} , мм	L _p , мм	i	Тип двигате- ля	N, кВт	n, $\frac{об}{мин}$
	D ₁ , мм	D ₂ , мм	L, мм								

Примечание. В таблице 11 обозначено:

D₁, D₂ – диаметры барабана в сжатом и расжатом состоянии;

L – длина рабочей части барабана;

- a – ход кулачка механизма зажима конца полосы;
 φ – угол поворота вала барабана при изменении диаметра барабана;
 l_{\max}, l_p – максимальный и рабочий ходы сталкивателя;
 i – передаточное отношение.
9 Вычертить кинематическую схему моталки и барабана.

СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

Отчет составляется в журнале лабораторных работ и должен содержать ответы на вопросы 7 и 9, а также включать:

- 1 Цель работы.
- 2 Краткие теоретические сведения.
- 3 Описание моталки лабораторного стана, кинематическую схему барабана с механизмом изменения диаметра серьевого типа.
- 4 Данные, полученные при проведении лабораторной работы.
- 5 Анализ результатов работы.

ПРАВИЛА ТЕХНИКИ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ РАБОТЫ

- 1 Включение двигателя моталки и сталкивателя рулонов осуществлять только оператору стана (учебному мастеру) с разрешения преподавателя.
- 2 Измерение параметров барабана, изучение работы механизма моталки производить при отключенном двигателе привода моталки. Вращение вала барабана при этом осуществляется вручную за муфту двигателя.
- 3 Соблюдать все правила техники безопасности при работе с быстровращающимися валами.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

- 1 Для чего предназначены моталки станов холодной прокатки?
- 2 По каким признакам классифицируют моталки?
- 3 Как классифицируют барабаны моталок по механизму изменения диаметра?
- 4 Какие применяют механизмы для зажима переднего конца полосы?
- 5 Какие механизмы уборки рулонов применяют на моталках станов холодной прокатки?
- 6 С какой целью унифицируют диаметры барабанов моталок?
- 7 Что такое свертыватель ременного типа и в каких случаях его применяют?
- 8 В каких случаях применяют трехопорные барабаны и как в этих конструкциях обеспечивают съём рулона с барабана?

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Машины и агрегаты металлургических заводов: В 3 т. - Т.3. Машины и агрегаты для производства и отделки проката: Учебник для вузов / А.И. Целиков, П.И. Полухин, В.М. Гребенник и др. – М.: Металлургия, 1981. – 576 с.

- 2 Королев А.А. Механическое оборудование прокатных цехов черной и цветной металлургии. – М.: Металлургия, 1976.- 544 с.
- 3 Королев А.А. Конструкция и расчет машин и механизмов прокатных станов. – М.: Металлургия, 1985 . – 376 с.
- 4 Целиков А.И. Современное развитие прокатных станов / А.И. Целиков, В.И. Зюзин. – М.: Металлургия, 1972. – 400 с.
- 5 Дунаевский В.И. Конструкция, технология и методы расчета машин для правки листового проката: Учеб. пособие. – К.: УМК ВО, 1992. – 103 с.
- 6 Королев А.А. Прокатные станы и оборудование прокатных цехов: Атлас. – М.: Металлургия, 1968. – 203 с.
- 7 Химич Г.Л. Механическое оборудование цехов холодной прокатки. – М.: Машиностроение, 1972. – 220 с.
- 8 Режущие машины прокатных станов / Под ред. А.И. Целикова.– М.: ВНИИинформтяжмаш, 1971. – 60 с.
- 9 Чекмарев А.Н. Методы исследования процессов прокатки /А.Н. Чекмарев, С.А. Ольдзиевский. – М.: Металлургия, 1969. – 298 с.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
к лабораторным работам № 9-15
по дисциплине «Расчет и конструирование прокатных станов»
(для студентов специальности 8.090218)

Составитель

Виктор Иванович Шпак

Редактор

Нели Александровна Хахина

83/2003. Подп. в печ.
Ризографическая печать. Усл.печ.л.
Тираж 25экз.

Формат 60×84/16.
Уч-изд. л.
Заказ№