

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ
ДОНБАССКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНАЯ
АКАДЕМИЯ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

К практическим занятиям по дисциплине

«Расчет и конструирование прокатных станов»

(для студентов специальности 7.0902189)

Краматорск 2001

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ
ДОНБАССКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНАЯ
АКАДЕМИЯ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к практическим занятиям по дисциплине

«РАСЧЕТ И КОНСТРУИРОВАНИЕ ПРОКАТНЫХ СТАНОВ2

для студентов специальности 7.090218

Утверждено
на заседании кафедры автоматизированных
металлургических машин и оборудования
Протокол №3 от 28.11.2000г.

Краматорск ДГМА 2001

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ
ДОНБАССКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНАЯ АКАДЕ-
МИЯ

Составитель

Шпак В.И.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к практическим занятиям по дисциплине

«РАСЧЕТ И КОНСТРУИРОВАНИЕ ПРОКАТНЫХ СТАНОВ»

Утверждено на заседании

кафедры АММ

Протокол №3 от 28.11.2000г.

Утверждаю

Проректор по учебной работе А.Н.Фесенко

В кол-ве 30 экземпляров

Краматорск ДГМА 2001

УДК 669.1

Методические указания к практическим занятиям по дисциплине «Расчет и конструирование прокатных станов» для студентов специальности 7.090218. Занятия №1-8 /Сост. В.И.Шпак . – Краматорск: ДГМА, 2001,

Методические указания предназначены для студентов, обучающихся по специальности «Металлургические машины и оборудование». В них изложена методика подготовки студентов к практическим занятиям, основные теоретические сведения, методики расчета элементов конструкций на прочность и жесткость, условия задач, рекомендуемых для решения на занятии и контрольные вопросы.

Составитель

В.И.Шпак, доц.

Отв.за выпуск

Ю.К.Доброносков, ст.препод.

ЗАНЯТИЕ № 1

КЛАССИФИКАЦИЯ ПРОКАТНЫХ СТАНОВ И ИХ РАБОЧИХ КЛЕТЕЙ

1.1. Цель занятия

Закрепление теоретических знаний, приобретение практических навыков составления схем расположения оборудования прокатных станов

1.2. ОСНОВНЫЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

1.2.1. Сортамент прокатной продукции

Прокатную продукцию в зависимости от формы поперечного сечения разделяют на четыре группы: листовой прокат; сортовой прокат; трубы; специальные профили [2].

Листовой прокатки по толщине подразделяется на толстолистовую сталь (толщиной более 4 мм) и тонколистовую (толщиной менее 4 мм).

Холоднокатаная листовая и полосовая сталь подразделяется на три категории точности – нормальную, повышенную и высокую. В соответствии с Государственными стандартами для каждой категории точности оговорены допускаемые отклонения по толщине.

В зависимости от формы поперечного сечения сортовой прокатки подразделяют на простые и фасонные профили. На рисунках 1.1 и 1.2 приведены примеры сортовых профилей, полученных методом горячей прокатки.

К фасонным профилям общего назначения относят шестигранные профили, равнобокие и неравнобокие уголки, швеллеры, двутавровые балки и др.

К фасонным профилям специального назначения относят прокат сложного поперечного сечения, применяемый в сельскохозяйственном машиностроении, судостроении, строительстве, электропромышленности, угольной, нефтяной и горнорудной промышленности и т.д.

Условно весь сортовой прокат может быть разделен на четыре группы: сталь крупносортовая, среднесортовая, мелкосортовая и катанка.

Трубы подразделяют на две группы: бесшовные и сварные. Производство сварных и холоднокатаных труб неуклонно растет.

Тонколистовой прокат, особенно холоднокатаный, является одним из наиболее экономичных видов металлопродукции. Доля листов в общем сортаменте проката возрастает до 50-60 % и холоднокатаных до 25-30%.

На специализированных прокатных станах бала успешно освоена прокатка круглых периодических профилей (осей, валов и др.), коротких тел вращения

(шаров, роликов, втулок), крупномодульных зубчатых колес, сверл и ряда других профилей.

Точность изделий, полученных прокаткой, оказалась высокой и последующую механическую обработку удалось свести к минимуму.

Процесс профилирования листового проката обеспечивает производство гнутых профилей на станах при сокращении или полном исключении операций сварки, соединения болтами или заклепками.

Гнутые профили, изготавливаемые из листа и ленты толщиной 0,2-20 мм, широко применяют в разных отраслях промышленности и для бытовых целей (рис.1.3).

1.2.2. Классификация прокатных станов и их рабочих клетей

В зависимости от конструкции и расположения валков рабочие клетки прокатных станов можно разделить на шесть групп: двухвалковые, трехвалковые, четырехвалковые, многовалковые, универсальные и клетки специальной конструкции [2, с.15 –18].

В зависимости от расположения рабочих клетей, прокатные станы разделяют на следующие пять групп: одноклетьевые, линейные, многоклетьевые, последовательные, полунепрерывные, непрерывные [2,с.19-20].

В зависимости от назначения (т.е. от вида выпускаемой продукции) прокатные станы разделяют на следующие группы:

станы горячей прокатки: обжимные (блюминги, слябинги), заготовочные, рельсобалочные, крупносортные, средносортные, мелкосортные, проволочные, толстолистовые, широкополосные и штрипсовые;

станы холодной прокатки: листовые,жестепрокатные и станы для прокатки тонкой и тончайшей ленты;

станы узкого назначения (специальной конструкции): колесопркатные, бандажепрокатные, для прокатки полос и профилей переменного и периодического сечения.

За основной параметр сортовых прокатных станов, характеризующий их размер, обычно принимают диаметр прокатных валков или шестерен шестеренной клетки. Если в стане несколько клетей, параметром всего стана в целом является диаметр валков или шестерен последней чистовой клетки.

Основным параметром листовых станов является длина бочки валка, которая определяет наибольшую ширину прокатываемых на стане листов и полосы.

Технические данные и характеристика основных видов прокатных станов представлены [2,с.21].

1.3.ЗАДАЧИ

Задача 1. Вычертить схему расположения валков и привести область применения следующих типов клетей:

клетки «дуо»;
клетки «трио»;
клетки «кварто»;
клетки двенадцативалковые;
клетки двадцативалковые;
клетки слябинга;
клетки прошивного стана.

Задача 2. Вычертить схему расположения рабочих клеток и привести область применения следующих типов станов:

стана с линейным расположением клеток;
стана с последовательным расположением клеток;
стана с последовательно-возвратным расположением клеток;
непрерывного стана;
полунепрерывного стана.

Задача 3. Дать классификацию прокатных станов по назначению, привести их основные параметры и прокатываемый сортмент.

1.4. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

- 1 Классификация прокатных станов по назначению.
- 2 Классификация прокатных станов по схеме расположения клеток.
- 3 Классификация прокатных клеток по схеме расположения валков.
- 4 Сортмент продукции прокатываемой на следующих станах: блюминге, слябинге, непрерывном заготовочном стане, толстолистовом стане, непрерывных и полунепрерывных широкополосных станах, рельсобалочном стане, крупно-сортном, средносортном, мелкосортном и проволочных станах, станах для производства бесшовных труб.
- 5 Станы специального назначения, примеры, сортмент прокатываемой продукции.

ИЗУЧЕНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ ПРОКАТНЫХ ВАЛКОВ. РАСЧЕТ ВАЛКОВ НА ПРОЧНОСТЬ И ЖЕСТКОСТЬ

2.1. Цель занятия

Закрепление теоретических знаний, приобретение студентами практических навыков по расчету валков на прочность и составление алгоритма расчета на ЭВМ.

2.2. ОСНОВНЫЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Валки прокатных станов выполняют основную операцию прокатки – деформацию металла и придание ему требуемой формы поперечного сечения. Валок состоит из нескольких элементов: бочки валка, которая при прокатке непосредственно соприкасается с металлом; шеек, расположенных с обеих сторон бочки и опирающихся на подшипники валка; концов валка, служащих для соединения валка со шпинделем.

Валки прокатных станов можно разделить на две основные группы: листовые и сортовые.

Листовые валки служат для прокатки листов, полос и лент. Бочка у этих валков цилиндрической формы.

Сортовые валки служат для прокатки различного сортового профиля и заготовок. Бочка этих валков выполняется с ручьями, ручьи двух валков образуют калибры.

Одним из основных показателей качества валка является твердость его рабочей поверхности. По этому признаку принято делить валки на мягкие, полутвердые, твердые и особо твердые [2, с.144-152; 4, с/99-105; 5, с.28-29].

Основным параметром, характеризующим размер прокатных валков, является номинальный диаметр бочки и ее длина. У сортовых валков под номинальным диаметром бочки обычно понимается расстояние между осями валков и момент прокатки.

Рабочий диаметр валков выбирают с учетом допустимого угла захвата и сопротивляемости валков изгибу:

$$D = \frac{\Delta h}{1 - \cos \alpha} = \frac{\Delta h}{2 \sin^2 \alpha / 2} \approx \frac{\Delta h}{\alpha^2 / 2} = \frac{2\Delta h}{\alpha^2}.$$

Для прокатных станов различного назначения практикой установлены следующие наиболее рациональные соотношения между длиной бочки валков и ее диаметром (L/D); на обжимных – 2,2-2,7; на сортовых – 1,6-2,5; на толстолистовых станах – 2,2-2,8; на четырехвалковых: для рабочих валков – 3-5, для опорных – 1,5-2,5 [3, с.99-102].

2.3.Расчеты прокатных валков на статическую прочность

2.3.1.Расчет на прочность валков сортовых и обжимных станов

Обычно бочку валка рассчитывают только на изгиб, шейку валка –на изгиб и кручение, приводной конец – только на кручение [6,с.109-121].

Напряжение изгиба в бочке валка определяют по формуле

$$\sigma = \frac{M_{\text{изг}}}{W_{\text{б}}} = \frac{M_{\text{изг}}}{0,1D^3}.$$

где $M_{\text{изг}}$ – изгибающий момент, действующий в рассматриваемом сечении бочки валка;

$W_{\text{б}}$ – момент сопротивления поперечного сечения бочки валка на изгиб.

Для сортового валка надо подставлять значение максимального изгибающего момента, для чего необходимо изгибающие моменты, действующие при прокатке в различных калибрах (рис.2.1), определить по формуле

$$M_{\text{изг}}=P \frac{\chi}{a} (a - \chi),$$

Где P – полное давление металла на валки при прокатке в данном калибре.

Для листовых двухвалковых станов максимальный изгибающий момент будет в середине бочки валка (рис.2.2):

$$\frac{P}{2} \left(C + \frac{L}{2} \right) - \frac{b^2}{8},$$

где P – максимальное давление металла на валки при прокатке.

Шейку валка рассчитывают по напряжениям на изгиб и кручение в опасном сечении I-I:

Напряжения изгиба для сортового валка (см.рис.2.1):

$$\sigma_{\text{ш}} = \frac{M_{\text{изг.ш}}}{W_{\text{ш}}} = \frac{P/a (a - \chi)C}{0,1d^3} = \frac{P(a - \chi)C}{0,1d^3 a}.$$

Напряжения изгиба для листового валка (см.рис.2.1)

$$\sigma_{\text{ш}} = \frac{M_{\text{изг.ш}}}{W_{\text{ш}}} = \frac{P/2 C}{0,1d^3} = \frac{PC}{0,2d^3}.$$

Напряжение кручения

$$\tau_{\text{кр}} = \frac{M_{\text{кр.ш.}}}{W_{\text{кр.ш}}} = \frac{M_{\text{кр.ш.}}}{0,2d^3},$$

где $M_{\text{кр.ш.}}$ - крутящий момент, прикладываемый к валу со стороны привода. Результирующее напряжение определяется по формулам:

Для стальных валков

$$\sigma_{\text{рез.}} = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2},$$

Для чугунных валков

$$\sigma_{\text{рез.}} = 0,375 + 0,625\sqrt{\sigma^2 + 4\tau^2}.$$

Результирующее напряжение не должно превышать допустимого для данных валков:

$$\sigma_{\text{рез.}} < [\sigma],$$

где $[\sigma] = \frac{\sigma_{\text{в}}}{5}$, где $\sigma_{\text{в}}$ – предел прочности материала на изгиб.

2.3.2. Расчет на прочность прокатных валков клеток кварто

Благодаря применению опорных валков, рабочие валки в значительной мере разгружаются от изгибающих моментов, которые в этом случае почти целиком будут передаваться опорным валкам. Для ориентировочных подсчетов

можно принимать, что все усилие прокатки передается на опорный валок и последний надо рассчитывать на изгиб на это усилие [1,с.205-221; 4,с.103-104; 6,с.107-112].

При холодной прокатке сталей и сплавов возникают большие контактные напряжения и деформации на площадках упругого сплющивания рабочего валка с опорным, а также рабочего валка с полосой.

Контактные напряжения рассчитываем по формуле

$$\sigma_k = 0,418 \sqrt{\frac{gE}{R_{пр}}} \leq [\sigma_k],$$

где $g = \frac{P}{L}$ - нагрузка на единицу длины валка;

P – полное усилие прокатки;

L – длина контакта по образующей валка;

$E = 2E_1E_2 / (E_1 + E_2)$ – приведенный модуль упругости;

$R_{пр} = 2R_1R_2 / (R_1 + R_2)$ – приведенный радиус;

E_1, E_2 – модуль упругости материала рабочего и опорного валков;

R_1, R_2 – радиус рабочего и опорного валков;

$[\sigma]_k \approx 3\sigma_3$ – допускаемые контактные напряжения;

σ_3 – предел текучести материала валков.

2.4. Расчет прокатных валков на циклическую прочность

Расчет на выносливость обычно проводят в форме проверки коэффициента запаса прочности [1,с.213-216].:

$$n_\sigma = \frac{n_\sigma n_\tau}{\sqrt{n_\sigma^2 + n_\tau^2}},$$

где n_σ и n_τ - частные коэффициенты запаса прочности по нормальным напряжениям при изгибе и касательным напряжениям при кручении:

$$n_\sigma = \frac{\sigma_{-1}}{\left(\frac{K_\sigma}{\beta \epsilon_\sigma} \sigma_a + \psi_\sigma \sigma_m \right)};$$

$$n_{\tau} = \frac{\tau_{-1}}{\left(\frac{K_{\tau}}{\beta \varepsilon_{\tau}} \tau_a + \psi_{\tau} \tau_m\right)},$$

где σ_{-1} и τ_{-1} – пределы выносливости, соответственно, при изгибе и кручении с симметричным циклом изменения напряжений:

$$\sigma_{-1} = (0,45-0,55)\sigma_B; \tau_{-1} = 0,6\sigma_{-1};$$

Примечание. Меньшие значения относятся к вязким сталям, большие – к твердым и хрупким;

σ_a, τ_a – амплитуды цикла при изгибе и кручении;

σ_m, τ_m – средние значения напряжений при изгибе и кручении;

$\varepsilon_{\sigma}, \varepsilon_{\tau}$ – масштабные факторы при изгибе и кручении;

$\psi_{\sigma}, \psi_{\tau}$ – коэффициенты, характеризующие чувствительность материала к асимметрии цикла напряжений.

2.5. Расчет прокатных валков на жесткость [1, с.201-205; 2, с.159-163].

Прогиб валков прокатных станов происходит под действием изгибающих моментов и перерезывающих сил.

$$y_B = y_{B1} + y_{B2},$$

где y_{B1} – прогиб в результате действия изгибающих моментов;

y_{B2} – прогиб вследствие действия поперечных сил.

Эти прогибы в середине валка равны:

$$Y_{B1} = \frac{P}{384EI_{\sigma}} [8a^3 - 4aB^2 + B^3 + 64C^3 \left(\frac{I_{\sigma}}{I_{\tau}} - 1\right)];$$

$$Y_{B2} = \frac{P}{\pi GD^2} \left[a - \frac{B}{2} + 2C \left(\frac{D^2}{d_{\tau}^2} - 1 \right) \right],$$

Где E и G – модули упругости и сдвига для материала валков;

$$I_{\sigma} = \frac{\pi D^4}{64} - \text{момент инерции сечения бочки валка};$$

$$I_{ш} = \frac{\pi d_{ш}^4}{64} - \text{момент инерции сечения шейки валка.}$$

Значение суммарного прогиба середины бочки валка относительно края полосы для стальных валков определяется по формуле

$$\Delta y_{в} = \left[1 + \frac{Pb}{8D^2} (12a - 7b) \frac{1}{2\pi G} \frac{Pb}{D^2} \right].$$

2.6. Задачи

Задача 1. Рассчитать на прочность валок блюминга 1150, проверить работоспособность подшипников. Дано: усилие при прокатке слэбов на гладкой бочке составляет 17 мН. Максимальный крутящий момент $M_{кр} = 3$ мНм. Материал валков-кованная углеродистая сталь $\sigma_{в} = 650 \frac{Н}{мм^2}$. Геометрические размеры валка взять с чертежа.

Задача 2. Выполнить расчет рабочих и опорных валков стана «кварто» 550x1500x2500 для холодной прокатки полосы. Дано: максимальное усилие при прокатке полосы шириной 2300 мм $P = 35$ мН; максимальный крутящий момент на одном рабочем валке $M_{кр} = 200$ кНм; разность переднего и заднего натяжений полосы, приложенная к двум рабочим валкам, $T = 200$ кН.

Задача 3. По приведенной на рисунке 2.3 блок-схеме составить программу расчета опорного неприводного валка клетки «кварто» на прочность.

2.7. Контрольные вопросы

- 1 В чем отличие валков листовых станов от валков сортовых станов?
- 2 Как выбирают диаметр рабочих валков различных прокатных станов?
- 3 Назовите допускаемую суммарную величину переточки валка блюминга и валка тонколистового стана холодной прокатки.
- 4 Как повышают величину допустимого угла захвата на валках обжимных, толстолистовых станов?
- 5 Как рассчитать на прочность бочку валка, шейку и приводной конец обжимного, сортового валка?
- 6 В чем особенность расчета на прочность валков станов «кварто»?
- 7 Из каких материалов изготавливаются валки обжимных, сортовых и листовых станов?
- 8 Нарисуйте эпюру изгибающих моментов рабочего валка листового стана.

9 Нарисуйте эпюру крутящих моментов на рабочем валке блюминга, листового стана.

10 Изложите методику расчета прокатных валков на циклическую прочность.

Примечание. По приведенным аналитическим зависимостям на практическом занятии составляется алгоритм расчета прокатных валков на прочность и жесткость с помощью ЭВМ и используется студентами при выполнении домашнего задания.

4. Занятие №4

ИЗУЧЕНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ МЕХАНИЗМОВ УСТАНОВКИ ВАЛКОВ, ВЫБОР МОЩНОСТИ ДВИГАТЕЛЯ И РАСЧЕТ ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИИ НА ПРОЧНОСТЬ

4.1. Цель занятия

Закрепление теоретических знаний и приобретение студентами практических навыков к расчету мощности двигателя, прочностным расчетам и составлению алгоритма расчета на ЭВМ.

4.2. Основные теоретические сведения

4.2.1. Электромеханические механизмы установки валков

Установка валков в вертикальной плоскости на большинстве станов осуществляется при помощи специального механизма с нажимными винтами.

На станах «кварто», прокатывающих длинные полосы, для получения заданной толщины полосы коррективная обжатия осуществляется во время прокатки, поэтому нажимной механизм верхнего валка должен быть рассчитан на преодоление полного усилия, действующего на валки во время прокатки.

На тех стадиях, где положение верхнего валка должно изменяться после каждого прохода металла через валки, нажимной механизм рассчитывают по усилию переуравновешивания [2, с.184-194; 3, с.128-136; 5, с.41-44].

Основные несущие детали нажимных устройств – винты и гайки. Нажимной винт воспринимает усилие на валки при прокатке, приходящееся на одну шейку валка и передает его через нажимную гайку станине. Профиль резьбы применяется трапецеидальной или упорный. Шаг выбирается таким образом, чтобы угол подъема винтовой линии был меньше угла трения (по условиям самоторможения обычно не более $2^{\circ}30'$).

4.2.2. Механизмы уравновешивания валков

В рабочих клетях прокатных станов предусмотрены специальные устройства для уравнивания рабочего валка и его подушек. Устройства уравнивания предназначены для устранения зазоров в системе «винт-гайка-станина» и обеспечения требований, предъявляемых к устройствам уравнивания, усилие, развиваемое ими, должно превышать вес уравниваемых деталей на 20-40%, т.е. коэффициент переуравнивания принимают равным 1,2-1,4.

Для уравнивания верхнего валка с подушками применяют устройства грузовые, гидравлические и пружинные [2,с.195-199; 5,с.45].

Грузовое уравнивание применяют при перемещении валка на большую высоту в обжимных станах. Гидравлическое уравнивание применяют на обжимных и листовых станах. Оно выполняется с помощью гидроцилиндров плунжерного типа, установленных или на станине, или между подушками [2,с.196-197; 5,с.36]. В рабочих клетях «кварто» рабочие и опорные валки уравниваются гидроцилиндрами, расположенными в подушках рабочего и опорного нижних валков [2,с.197; 5,с.45].

Управляются гидроцилиндры грузовым или пневматическим аккумулятором, обеспечивающим давление 5-10 Мпа. Преимуществами гидравлического уравнивания является его компактность и простота конструкции, однако появляется необходимость установки насосно-аккумуляторной станции и усложняется перевалка валков из-за подвода гидравлики к подушкам [1,с.248-250; 2,с.196-198].

Пружинное устройство для уравнивания верхнего валка применяют при небольшом перемещении валков и малой массе уравниваемых деталей (на заготовочных, сортовых, проволочных и ленточных станах) [1,с.251-252].

4.3. Расчет мощности двигателя нажимного механизма [3,с.134-141]

Момент на хвостовике нажимного винта можно определить по формуле:

$$M_{\text{в}} = P \left[\mu_{\text{н}} \frac{d_{\text{н}}}{3} + \frac{d_{\text{ср}}}{2} \operatorname{tg}(\alpha + \varphi) \right] ?$$

Где P – усилие, действующее на нажимной винт;

$d_{\text{н}}$ – диаметр пяты нажимного винта;

$\mu_{\text{н}}$ – коэффициент трения в пяте;

$d_{\text{ср}}$ – средний диаметр резьбы нажимного винта;

α – угол подъема резьбы;

φ – угол трения в резьбе, определяемый по формуле:

$$\operatorname{tg} \varphi = \mu_{\text{р}},$$

где μ_p – коэффициент трения в резьбе, обычно принимают $\mu_p=0,1$, тогда $\varphi = 5^{\circ} 40'$.

Усилие P , действующее на нажимной винт, определяется для разных станов по-разному:

1 Когда нажимной винт перемещается только во время паузы между проходами (на блюмингах, слябингах, толстолистовых станах), усилие P определяется из условия переуравновешивания:

$$P = Q - \frac{G}{2} = (0,2 - 0,4) \frac{G}{2},$$

Где Q – усилие на одну подушку валка со стороны механизма уравновешивания;

G – масса уравновешиваемых деталей.

2 На тонколистовых станах верхний валок устанавливают во время процесса прокатки, т.е. при полной силе прокатки:

$$P = \frac{P_{пр}}{2},$$

Где $P_{пр}$ – усилие прокатки.

Крутящий момент двигателя для привода винта можно определить по формуле:

$$M_{дв} = \frac{M_{в}}{i\eta},$$

Где i – передаточное число привода от двигателя к винту;

η – КПД передачи от двигателя к винту.

Мощность двигателя

$$N_{дв} = M_{дв} \omega_{дв},$$

Где $\omega_{дв} = \frac{\pi n_{дв}}{30}$.

Для установочных механизмов, работающих в повторно- кратковременном режиме (на блюмингах, слябингах, обжимных клетях рельсобалочных станов и т.д.) мощность и момент двигателя необходимо определить по среднеквадратичному току, а также из условия достаточно быстрого разгона двигателя.

При этом момент двигателя

$$M_{дв} = M_{ст} + M_{дин},$$

Где $M_{ст}$ – статический момент на валу двигателя;

$M_{дин}$ – динамический момент на валу двигателя;

$$M_{дин} = \frac{GD_i^2}{4g} E,$$

Где $\frac{GD_i^2}{4g}$ – момент инерции всех вращающихся масс, приведенный к валу

двигателя;

G – вес вращающейся детали;

g – ускорение свободного падения;

E – угловое ускорение привода при разгоне, равное 20...60 1/с.

4.4. Расчет нажимного винта и гайки на прочность

Диаметр нажимного винта определяют в зависимости от усилия, действующего на него при прокатке [1, с.244-246; 3/с/140-142].

$$d_1 = \sqrt{\frac{4P}{\pi[\sigma]}},$$

где d_1 – внутренний диаметр нарезки винта;

P – максимальное усилие, действующее на винт;

$[\sigma]$ – допустимое напряжение сжатия винта.

Диаметр нажимной гайки D и высоту ее H обычно выбирают из следующих соотношений:

$$D = (1,5 \dots 1,8)d_0; H = (0,95 \dots 1,1)D,$$

Где d_0 – наружный диаметр винта.

Выбрав винт и гайку, выполняют проверочный расчет.

Напряжение сжатия в сечении нижнего опорного конца винта

$$\sigma_{сж} = \frac{4P}{\pi D_H^2}.$$

Напряжение кручения в теле винта

$$\tau = \frac{M_B}{0,2d_H^3},$$

где M_B – крутящий момент, передаваемый винтом,

$$M_B = P \left[\frac{d_{cp}}{2} \operatorname{tg}(\alpha \pm \varphi) + \mu_n \frac{d_n}{3} \right],$$

где P – усилие, действующее на винт, при перемещении винта во время прокатки

$$P = P/2$$

где P – усилие прокатки;

При перемещении винта во время пауз – $P = (0,2 \dots 0,4) \frac{G}{2}$,

Где G – масса уравниваемых частей;

d_n – диаметр пяты нажимного винта;

μ_n – коэффициент трения в пяте;

d_{cp} – средний диаметр резьбы нажимного винта;

α – угол подъема резьбы;

φ – угол трения в резьбе.

Приведенные напряжения в теле винта

$$\sigma_{пр} = \sqrt{\sigma_{сж}^2 + 4\tau^2} \leq [\sigma],$$

где $[\sigma] = \frac{\sigma_B}{n}$ – допускаемые напряжения;

n – коэффициент запаса прочности.

Рассчитываем гайку.

Число витков гайки

$$Z = \frac{H}{S},$$

где H – высота гайки;

S – шаг резьбы.

Напряжения смятия между витками винта и гайки

$$\sigma_{\text{см}} = \frac{4P}{\pi(d_0^2 - d_1^2)Z},$$

где d_0 – наружный диаметр резьбы;

d_1 – внутренний диаметр резьбы.

Напряжения смятия гайки по площади соприкосновения гайки со станиной

$$\sigma_{\text{см}} = \frac{4P}{\pi(D^2 - d_{\text{отв}}^2)}.$$

где D – диаметр гайки;

$d_{\text{отв}}$ – диаметр отверстия в станине.

$$\sigma_{\text{см}} \leq [\sigma]_{\text{см}},$$

где $[\sigma]_{\text{см}}$ – допустимое напряжение смятия.

4.5. Задачи

Задача 1. Выполнить проверочный расчет нажимных винтов и динамический расчет электродвигателей привода быстроходного нажимного механизма блюминга 1150. Дано: максимальное осевое усилие на нажимной винт 8,5 мН; максимальная скорость перемещения винта по вертикали $v = 0,25$ м/с; режим работы механизма – повторно-кратковременный при 15-25 включениях в минуту. Размеры винта и гайки взять из чертежа.

Задача 2. Выполнить расчет тихоходного нажимного механизма стана «кварто» 500x1500x2500 для холодной прокатки полосы. Дано: резьба нажимного винта 560x12 мм, наружный диаметр 560 мм, средний диаметр 552 мм, внутренний 545 мм, $\alpha = 0^\circ 24'$, максимальное усилие на один винт 17,5 мН.

4.6. Контрольные вопросы

- 1 Назначение нажимного механизма прокатного стана.
- 2 С какой скоростью перемещаются валки блюминга, листового стана? Почему их скорости различны?
- 3 Какие резьбы применяют для нажимных винтов?
- 4 Из каких материалов изготавливаются винт и гайка нажимного механизма?
- 5 Как обеспечивается условие самоторможения в паре винт-гайка?
- 6 Назначение пяты и подшипника. Их форма и материал.

- 7 Как определить момент, необходимый для вращения нажимного винта блюминга, листового стана?
- 9 Какие сопротивления преодолевает двигатель нажимного механизма при перемещении винта?
- 10 Как рассчитать винт на прочность?
- 11 Нарисуйте эпюры распределения крутящего момента и осевой силы на винте.
- 12 Какие места гайки нажимного механизма проверяют на сжатие?
- 13 Назначение устройства для уравнивания валков.
- 14 Принципиальная схема грузового и гидравлического уравнивания валков.
- 15 Назовите достоинства и недостатки грузового и гидравлического уравнивания.
- 16 Почему применяют переуравнивания валков?
- 17 Назовите величины коэффициентов переуравнивания, применяемые при различных способах уравнивания валков.
- 18 Как определить вес контргруза?
- 19 Как проверить штангу на прочность?
- 20 Принцип проверки штанги на устойчивость.
- 21 Как выбрать диаметр рабочего цилиндра механизма уравнивания?
- ПРИМЕЧАНИЕ. По приведенным аналитическим зависимостям на практических занятиях составляется алгоритм расчета мощности двигателя нажимного механизма с помощью ЭВМ и используется при выполнении домашнего задания.

5 ЗАНЯТИЕ №5

ИЗУЧЕНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ УНИВЕРСАЛЬНЫХ ШПИНДЕЛЕЙ. РАСЧЕТ ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИИ НА ПРОЧНОСТЬ

5.1. Цель занятия

Углубленное изучение конструктивных особенностей универсальных шпинделей, передающих крутящий момент от шестеренной клетки или непосредственно от главных электродвигателей валком рабочей клетки. Приобретение студентами навыков к расчету на прочность элементов универсальных шпинделей.

5.2. Основные теоретические сведения.

Для передачи валком рабочей клетки вращения и крутящих моментов от шестеренной клетки или непосредственно от главных электродвигателей применяют шпиндели двух основных типов: универсальные, шарнирные и зубчатые.

В основу конструкции универсальных шпинделей положен принцип шарнира Гука, поэтому шпиндели могут передавать вращения и крутящий момент под углом наклона до $8 \dots 10^\circ$.

Основные сведения по этому вопросу приведены в книгах [2, с.260-265; 3, с.166-175; 5, с.80-84]. Конструкция шарнира с бронзовыми вкладышами изложена в источниках [2, с.261-262; 5, с.84-86].

Конструкция универсального шпинделя на подшипниках качения [2, с.263; 5, с.87-88].

Шпиндельное соединение с зубчатыми муфтами и шариковые шпиндели рассмотрены в источниках [2, с.264-265; 5, с.90-92].

5.3. Расчет универсального лопастного шпинделя на прочность

После изучения конструктивных особенностей универсальных шпинделей выполнить расчет универсального шпинделя с шарнирами на бронзовых вкладышах по следующей методике [2, с.269; 2, с.175].

Схема расчета на прочность лопасти универсального шпинделя представлена на рис.5.1.

При передаче крутящего момента $M_{кр}$ на каждую щеку шпинделя будет действовать сила P , возникающая в результате давления лопасти на бронзовый вкладыш и бронзового вкладыша на щеку по цилиндрической поверхности их соприкосновения.

Момент, передаваемый шпинделем:

$$M_{кр} = Pa,$$

Где P – усилие, с которым нижний бронзовый вкладыш давит на щеку головки шпинделя, а верхний вкладыш на верхнюю щеку;

a – расстояние между точками приложения сил.

Принимаем, что удельные давления вкладыша на щеку шарнира распределяются по трапеции и сила P приложена в плоскости центра тяжести этой трапеции.

$$\text{Обычно } C \approx \frac{B}{4} \text{ и } l=0,35B; a=2f.$$

При передаче шпинделем крутящего момента $M_{кр}$ вкладыш давит на щеку шпинделя с силой P , которая равна:

$$P = \frac{M_{кр}}{a} = 1,43$$

Таким образом, при передаче шпинделем крутящего момента в сечении щеки I-I, (рис.3.1, в) на расстоянии χ от оси шарнира возникают напряжения и от кручения, и от изгиба.

Напряжения кручения в сечении I-I

$$\tau = \frac{M_{кр} / 2}{W_{кр}} = \frac{M_{кр}}{2W_{кр}},$$

где $W_{кр}$ – момент сопротивления сечения I-I на кручение.

Определить точное значение момента сопротивления, кручению сечения, имеющего форму сегмента, трудно, поэтому обычно сегмент приравнивают равновеликому по площади прямоугольнику высотой h и шириной $b_1 + b_2$ (см. рис.3.1, в).

Момент сопротивления сечения прямоугольника на кручение определяется по формуле

$$W_{кр} = \eta(b_1 + b_2)h^2,$$

Где коэффициент η зависит от отношения ширины прямоугольника к его высоте.

При $\frac{b_1 + b_2}{2} = 2 \dots 6$ величина $\eta = 0,2 \dots 0,3$.

Напряжение изгиба в сечении щеки I-I

$$\sigma = \frac{M_{изг}}{W_{изг}},$$

где $M_{изг}$ – момент сопротивления сечения I-I на изгиб.

Из чертежа видно, что момент изгиба сечения I-I и равен произведению силы P на плечо χ , тогда

$$M_{изг} = P_{\chi} = 1,43 \frac{M_{кр}}{b} \chi.$$

Определить момент сопротивления изгибу сечения I-I, имеющего форму сегмента, тоже весьма трудно, поэтому пользуются приближенной формулой. Для этого сегмент заменяем равновеликой по площади трапецией с основанием b_1+2b_2 и высотой h . Момент сопротивления сечения трапеции на изгиб

$$W_{\text{изг}} = \frac{3b_1^2 + 6b_1b_2 + 2b_2^2}{6(3b_1 + 4b_2)} h^2.$$

Расчетное напряжение в сечении щеки I-I от действия изгиба и кручения определяется по формуле:

$$\sigma_{\text{рас}} = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2}.$$

Шпиндели обычно изготавливают из углеродистой ковanej стали марки 40 или из легированных сталей 40X, 40XH, 40XHM. Предел прочности этих сталей равен 650...850 Мпа.

Кроме определения напряжения в сечении I- I необходимо также проверить напряжение в теле шпинделя.

Очевидно, что тело шпинделя работает только на кручение, и напряжение в любом сечении по длине шпинделя между его шарнирами равно:

$$\tau = \frac{M_{\text{кр}}}{W_{\text{кр}}} = \frac{M_{\text{кр}}}{0,2d^3},$$

где d – диаметр тела шпинделя.

Подсчитанное по этой формуле напряжение не должно превышать допустимых напряжений.

При расчете лопасти шпинделя, так же как и при расчете щеки головки шпинделя, примем, что удельное давление от вкладыша распределяется на поверхности каждой вилки по трапеции и давление P_1 , действующее на вилку, равно:

$$P_1 = \frac{M_{\text{ср}}}{2f_0}.$$

Сила P_1 приложена эксцентрично относительно центра сечения вилки толщиной S . Очевидно, что эта сила будет скручивать сечение вилки моментом, равным:

$$M = P_1 e,$$

Где e – эксцентриситет приложения силы P_1 относительно центра тяжести сечения вилки, определяется по чертежу.

Напряжение кручения в сечении I-I определяется по формуле:

$$\tau = \frac{M_{кр}}{W_{кр}} = \frac{P_1 e}{W_{кр}}.$$

Момент сопротивления сечения I-I вилки лопасти кручению можно определить, приняв это сечение прямоугольнику высотой S и шириной $\frac{b_0 - C_0}{2}$.

$$W_{кр} = \eta \left(\frac{b_0 - C_0}{2} \right) S^2.$$

Напряжение изгиба в сечении вилки I-I

$$\sigma_{изг} = \frac{M_{изг}}{W_{изг}},$$

где $M_{изг}$ в сечении I-I равен:

$$M_{изг} = P_1 \chi.$$

Момент сопротивления изгибу прямоугольника сечения вилки лопасти определяют по формуле:

$$W_{изг} = \left(\frac{b_0 - C_0}{2} \right) \frac{S}{b}.$$

Далее необходимо также проверить напряжение в сечении II-II. Это сечение передает полный крутящий момент $M_{кр}$ и в нем возникают только напряжения кручения, которые можно определить:

$$\tau = \frac{M_{кр}}{W_{кр}},$$

где $W_{кр} = \eta b_0 S^2$.

где η зависит от отношения ширины сечения b_0 к его высоте S . Значения этого коэффициента можно брать $0,25 \dots 0,3$.

Иногда шестеренные и рабочие валки изготавливают как одно целое вместе с лопастями для шарниров шпинделей, поэтому допускаемые напряжения можно брать такими же, как и для шеек шестеренных и рабочих валков.

5.4. Задачи

Задача 1. Выполнить поверочный расчет универсальных шпинделей стана «кварто» $500 \times 1500 \times 2500$ [5, с/74]. Дано: максимальный крутящий момент, передаваемый одним шпинделем $M_{кр} = 205$ кНм; максимальный угол наклона шпинделя $\alpha = 3^\circ$.

5.5. Контрольные вопросы

- 1 Назначение универсальных шпинделей.
- 2 Основные типы универсальных шпинделей, область их применения.
- 3 Определение длины шпинделя.
- 4 Основные элементы шарнира шпинделя.
- 5 Принцип работы универсальных шпинделей.
- 6 Конструктивное исполнение открытого шарнира на вкладышах.
- 7 Конструктивные особенности шпиндельного соединения с зубчатыми муфтами.
- 8 Основные параметры шарнира универсального шпинделя.
- 9 Каким видам деформации подвергаются элементы шарниров шпинделей.

6. Занятие №6

ИЗУЧЕНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ РАБОЧИХ КЛЕТЕЙ МНОГОВАЛКОВЫХ СТАНОВ ХОЛОДНОЙ ПРОКАТКИ ПОЛОС И РАСЧЕТ ВАЛКОВ НА ПРОЧНОСТЬ

6.1. Цель занятия

Углубление знаний о конструктивных особенностях многовалковых реверсивных станов холодной прокатки листа. Приобретение навыков к определению усилий, действующих на валковую систему 20-ти валкового стана.

6.2. Основные теоретические сведения

Многовалковые реверсивные станы применяют для холодной прокатки тонких (0,1...0,5 мм) и весьма тонких (до 2 мм) полос и ленты из легированных сталей и специальных сплавов.

Исходной полосой (заготовкой) для них является лист толщиной 0,5...1,5 мм, предварительно прокатанный на обычных четырехвалковых станах.

Принцип работы и состав основного оборудования этих станов рекомендуется изучить по соответствующим источникам [3, с.459, рис.ХУ-8; 5бс.68-69].

6.3. Определение усилий, действующих на валковую систему

Распределение усилий между валками 20-ти валкового стана можно определить графически (рис.6.1). Для заданных размеров валковой системы геометрическое разложение сил дает следующие результаты:

$$\begin{aligned} P_8=P_9=0,43P; & \quad P_2=P_7=0,63P & \quad P_4=P_5=0,63P; \\ P_7=P_{10}=0,63P; & \quad P_3=P_6=0,63P; & \quad P_1=P_8=0,43P. \end{aligned}$$

Для более детального рассмотрения вопроса о геометрическом разложении сил рекомендуем обратиться к источнику [3, с.111-114]. Зная усилия на ролики $P_1...P_8$, определяем опорные реакции, передаваемые осью опорных роликов на станину.

6.4. Контрольные вопросы

- 1 Классификация многовалковых станов по конструкции станины рабочей клетки.
- 2 Как осуществляется привод рабочих валков 20-ти валкового стана?
- 3 Конструктивные особенности рабочих валков многовалкового стана.
- 4 Конструкция опорной кассеты многовалкового стана.

- 5 Конструкция и работа нажимного механизма 20-ти валкового стана.
- 6 Уравновешивание валков многовалкового стана.
- 7 Осевая фиксация рабочих и опорных валков многовалкового стана.

7. Занятие №7

ИЗУЧЕНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ РАБОЧИХ КЛЕТЕЙ НЗС И СОРТОВЫХ СТАНОВ. РАСЧЕТ ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИЙ НА ПРОЧНОСТЬ.

7.1. Цель занятия

Углубленное изучение конструктивных особенностей рабочих клеток НЗС и сортовых станов и приобретение практических навыков к расчету элементов конструкции на прочность.

7.2. Основные теоретические сведения

Для прокатки квадратных заготовок сечением 60-х 60 мм, а также соответствующих круглых, прямоугольных и плоских заготовок применяют непрерывные заготовочные станы двух типов:

- 1 14-клетевой стан 900/700/500, устанавливаемый непосредственно за блюмингом 1300; производительность этого стана около 5,0 млн. т в год;
- 2 12-клетевой стан 850/700/500, устанавливаемый непосредственно за блюмингом 1150; производительность этого стана 3,5 млн. т. в год.

Непрерывный заготовочный стан 900/700/500 предназначен для прокатки заготовок из углеродистых и легированных сталей сечением 80 х 80-200 х 200 мм, полученных из блюмов сечением 370 х 370 мм, длиной 10 м и массой около 9 тонн.

НЗС 850/700/500 служит для прокатки заготовок сечением 60 х 60-170х170 мм из блюмов сечением 300 х 300 мм . длиной 10 м и массой 7,2 т [2,с.73-77].

Первый стан состоит из 14 двухвалковых клеток, расположенных в трех группах (две клетки обжимной группы с номинальным диаметром валков 900 мм, шесть клеток первой непрерывной группы, две из которых имеют диаметр валков 900 мм, а четыре – 700 мм и шесть клеток с номинальным диаметром валков 500 мм).

Основная отличительная особенность этого стана – чередование клеток с вертикальными и горизонтальными валками во второй и третьей непрерывных группах.

При подготовке к занятию необходимо глубоко изучить конструкцию рабочих клеток по источнику [5,с.111-112].

Сортовые цехи предназначены для прокатки и отделки крупных, средних, мелких и простых фасонных профилей, а также проволоки, узкой полосы (штрипса).

Мелкосортный непрерывный двухниточный стан 250 предназначен для прокатки круглой стали диаметром 8...30 мм, квадратной – 10...27 мм, уголка – 20...40 мм и т.д. Исходная заготовка имеет массу 600 кг, сечением 80 x 80 мм, длину 12 м.

Технологический процесс прокатки на мелкосортном стане 250 и непрерывном четырехниточном проволочном стане 250 изложен в источнике [1, с.140-142].

7.3. Конструктивные особенности рабочих клеток

Отличительной особенностью рабочих клеток чистовой группы обоих типов станов является то, что привод валков индивидуальный, один из валков приводится от главного двигателя большой мощности (600 кВт в горизонтальной клетке и 364 кВт в вертикальной клетке). Второй валок приводится небольшим двигателем (35 кВт), чтобы синхронизировать скорости обоих валков в момент захвата металла [5, с.73? 74].

Перспективным в настоящее время считается применение предварительно напряженных клеток (ПНК), обеспечивающих повышение точности размеров сортовых профилей. Их целесообразно использовать в качестве последних чистовых клеток [3, с.411-412; 5, с.76].

В настоящее время наметилась тенденция к замене чередующихся вертикальных и горизонтальных клеток новыми непрерывными группами клеток, выполненных в виде компактных блоков клеток, обладающих большой жесткостью [3, с.415-416; 5, с.751]. Применяют блоки в составе от 9 до 12 клеток.

При подготовке к занятию глубоко изучить конструктивные особенности описанных в учебнике рабочих клеток и провести их сравнительный анализ.

7.4. Расчет станины заготовочного стана на прочность [3, с.155-160]

Станины рассчитывают на максимальное вертикальное усилие, действующее при прокатке на шейку вала. Расчетная схема станины имеет вид, показанный на рис.7.1.

Расчет проводим в следующей последовательности:

1 Используя конкретные геометрические размеры станины, проводим расчет моментов инерции и моментов сопротивления стоек и поперечин станины, а также строим нейтральную линию станины (определяем размеры l_1 и l_2).

2 Определяем статически неопределимый момент в углах рамы:

$$M_0 = \frac{Pl_1}{4} - \frac{1}{2(1 + \frac{l_2}{l_1} \frac{I_1}{I_2})}$$

3 Определяем изгибающий момент в поперечине:

$$M_1 = \frac{Pl_1}{4} - M_0.$$

4 Напряжения изгиба в середине поперечины

$$\sigma_n = \frac{M_1}{W_1},$$

где W_1 – момент сопротивления изгибу поперечины.

5 Напряжение растяжения в стойке станины

$$\sigma_p = \frac{P}{2F_2} + \frac{M_0}{W_2},$$

где F_2 и W_2 – соответственно площадь поперечного сечения и момент сопротивления изгибу стойки станины.

6 Определяем запас прочности с учетом концентрации напряжений в точке под гайку нажимного винта

$$n = \frac{1}{2K} \frac{\sigma_b}{\sigma_n},$$

где K – коэффициент концентрации;

σ_b – временное сопротивление материала станины.

7.5. Расчет на прочность рабочего валка сортопрокатного стана [4,с.110-121]

Расчетная схема сортопрокатного валка имеет вид, изображенный на рис.7.2.

Рабочий валок сортопрокатного стана при прокатке нагружен усилием P и к приводному хвостовику диаметром d_1 приложен крутящий момент, равный моменту прокатки.

Определяем момент инерции и момент сопротивления кручению хвостовика в сечении А-А

Можно при этом воспользоваться упрощенной методикой определения момента сопротивления сечения А-А. Для этого вычисляют (см.рис.7.2):

$$y_c = \frac{2 R^3 \sin^3 \alpha}{3 F_c}.$$

Заменяют сечение А-А прямоугольником с высотой $H=2y_c$.

Момент сопротивления сечения при $\eta=0,21$; $\frac{H}{b} = 1$ равен:

Напряжения кручения в сечении А-А

$$\tau_{\max} = \frac{M_{\text{кр}}}{W_{\text{кр}}} K,$$

где $K=1,2$ – коэффициент концентрации в месте сопряжения плоскости (лыски) лопасти с валом.

Запас прочности относительно предела прочности

$$n_{\tau} = \frac{\tau_b}{\tau_{\max}} \varepsilon_{\tau},$$

где ε_{τ} - масштабный фактор.

Определяем напряжения в сечении Б-Б шейки приводного валка:

$$\sigma_{\text{и}} = \frac{M_{\text{и}}}{W_{\text{и}}} K_{\sigma},$$

где $M_{\text{и}}$ – изгибающий момент в сечении Б-Б.

$$M_{\text{и}}=R_2 a.$$

Коэффициент запаса прочности при изгибе

$$n_{\sigma} = \frac{\sigma_{b_{\text{и}}} \varepsilon_{\sigma}}{\sigma}.$$

Где ε_{σ} - масштабный фактор.

Напряжения кручения

$$\tau = \frac{M_{кр}}{W_p} K_\tau.$$

Где W_p – полярный момент сопротивления;
 K_τ - коэффициент, учитывающий концентрацию напряжений в месте перехода шейки в бочку.

Коэффициент запаса прочности при кручении

$$n_\sigma = \frac{\tau_b}{\tau} \varepsilon_r.$$

Коэффициент запаса прочности при совместном действии изгиба и кручении

$$n = \frac{n_\sigma n_\tau}{\sqrt{n_\sigma^2 + n_\tau^2}} \leq [n],$$

где $[n]=2\dots3$.

Определяем прогиб валка при прокатке в среднем калибре

$$f_1 = \frac{P}{384Ef_1} \{8l^2 + 64C^3 [(\frac{D}{d})^4 - 1]\},$$

где f_1 – прогиб от действия изгибающего момента при $a=1, v=0$;

I_1 – момент инерции бочки,

$I_1=0,05D^4$;

F – модуль упругости 1 рода.

$$f_2 = \frac{P}{\pi GD^2} \{1 + 2c[(\frac{D}{d})^2 - 1]\},$$

где G – модуль упругости II рода.

Суммарный прогиб

$f=f_1+f_2$.

Для сортового стана допустимо:

$[f]\approx 0,5$ мм.

7.6. Контрольные вопросы

- 1 Конструктивные особенности рабочих клеток обжимной группы НЗС.
- 2 Конструктивные особенности рабочих клеток 1-й и 2-й непрерывных групп НЗС.
- 3 Конструктивные особенности рабочих горизонтальных (вертикальных) клеток мелкосортного стана.
- 4 С какой целью разработаны конструкции предварительно напряженных клеток?
- 5 Конструкция предварительно напряженной клетки мелкосортного стана (схему нарисовать на доске).
- 6 Конструктивные особенности рабочих клеток блочного типа.
- 7 В чем преимущество применения на мелкосортных и проволочных станах многовалковых калибров?

8. ЗАНЯТИЕ №8

ИЗУЧЕНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ ОСНОВНОГО И ВСПОМОГАТЕЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ТРУБОПРОКАТНЫХ И ТРУБОСВАРОЧНЫХ СТАНОВ. РАСЧЕТ МОЩНОСТИ ПРИВОДА ПРОШИВНОГО СТАНА И ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИИ НА ПРОЧНОСТЬ.

8.1. Цель занятия

Закрепление теоретических знаний, углубленное изучение конструкции различных типов станов для производства труб и приобретение студентами практических навыков к расчету мощности привода прошивного стана и составлению алгоритма расчета на ЭВМ.

8.2. Основные теоретические сведения

8.2.1. Трубопрокатные станы

Стальные бесшовные трубы изготавливают горячекатаными, холоднокатаными, холоднотянутыми и прессованными [1,2].

Производство горячекатаных труб диаметром менее 20 мм экономически нецелесообразно, их изготавливают способами холодной прокатки и волочения. Трубы диаметром свыше 700 мм также нецелесообразно изготавливать на прокатных станах ввиду сложности и громоздкости оборудования.

Производство бесшовных труб методом горячей прокатки осуществляется на трубопрокатных агрегатах, имеющих в своем составе различные трубопрокат-

ные прокатные станы. В зависимости от того, какой установлен в агрегате раскатной стан, трубопрокатные агрегаты классифицируются следующим образом:

- 1 трубопрокатный агрегат с пильгер-станом,
- 2 трубопрокатный агрегат с автоматическим станом;
- 3 трубопрокатный агрегат с трехвалковым раскатным станом;
- 4 трубопрокатный агрегат с непрерывным раскатным станом.

8.2.2. Прошивные станы

Прошивной стан является неотъемлемой составной частью любого из вышеперечисленных трубопрокатных агрегатов.

Прошивные станы служат для получения отверстий в заготовках круглого сечения или слитках при прокатке бесшовных труб. Эта операция является первоначальной и поэтому прошивной стан является первым станом трубопрокатного агрегата.

В зависимости от формы прокатных валков и схемы их расположения прошивные станы разделяются на три основных типа:

- 1 с бочкообразными валками;
- 2 с грибовидными валками;
- 3 с дисковыми валками.

В станах всех трех типов процесс прошивки осуществляется путем поперечно-винтовой (косой) прокатки, когда заготовка одновременно вращается и движется поступательно. Между валками устанавливается оправка, на которую прокатываемый металл надвигается при поступательном движении, в результате чего в нем образуется полость. В процессе этого из сплошной заготовки получается толстостенная труба, называемая гильзой.

Описание конструкции рабочей клетки прошивного стана представлено в источнике [2, с.480-487; 5, с.77].

8.2.3. Пилигримовые станы

Особенность пилигримовой прокатки состоит в том, что деформация осуществляется в ручьях переменного радиуса на цилиндрическом дорне. Этот способ характеризуется высокими единичными обжатиями и значительными суммарными вытяжками (более 16), благодаря чему можно получать трубы высокого качества непосредственно из слитков [1,2]. На пилигримовых станах прокатывают трубы диаметром до 650 мм.

Особенности процесса пилигримовой прокатки и конструкция пилигримового стана изложены в источнике [2, с.496-500].

8.2.4. Автоматические станы

Одним из наиболее распространенных способов раскатки гильз, полученных на прошивном стане, является продольная прокатка на автоматическом стане [1,2]. Автоматические станы служат для прокатки труб диаметром от 70 до 400 мм. Описание схемы прокатки на автоматическом стане и конструкции автоматических станов представлены в источнике [2,с.488-492].

8.2.5 Непрерывные трубопрокатные станы

Прокатка на непрерывном многоклетьевом стане является одним из наиболее перспективных высокопроизводительных способов производства труб. Непрерывные многоклетьевые станы предназначены для прокатки труб диаметром 40...152 мм с толщиной стенки от 2 до 20 мм.

Описание основ процесса непрерывной прокатки труб и конструкции оборудования представлены в источнике [2,с.492-495].

8.2.6. Раскатные станы винтовой прокатки

Процесс раскатки на таких станах осуществляется в двухвалковых или трехвалковых станах на длинной (плавающей) или на короткой (неподвижной) оправке. Основным преимуществом раскатки гильз в трехвалковых станах является получение труб со значительно меньшей разностенностью по сравнению со способами горячей прокатки труб в круглых калибрах. Трехвалковые раскатные станы предназначены для производства труб диаметром 50...200 мм с толщиной стенки 5...10 мм.

Описание конструкции трехвалкового стана представлено в источнике [2,с.500-503].

8.3. Расчет нагрузок на валки и мощности привода прошивного стана

Для расчетов конструктивных элементов прошивного стана и его главного привода необходимо знать действующие усилия и момент прокатки [1,2].

Усилие прокатки в общем виде

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

где p_{cp} - среднее давление прокатки;

F – площадь контактной поверхности металла с валками.

Для определения давления p_{cp} А.И.Целиков рекомендует формулу:

$$p_{cp} = 2\sigma_T \left[(1.2 \ln(2r/b) + 1.25b/2r - 0.25) \right],$$

где σ_T – предел текучести металла при данной температуре прошивки;

r – радиус заготовки;
 b – ширина контактной поверхности.

Эта формула справедлива при соотношении $1 \leq 2r/b \leq 8,5$.

Для участков раскатки гильзы на оправке можно использовать формулу Прандтля

$$p_{cp} = 2\sigma_T (1 + 0,5\pi) \approx 5,146\sigma_T.$$

Расчет ширины контактной поверхности производят по формуле А.И.Целикова

$$b_\chi = \sqrt{2R_\chi r_\chi \Delta r_\chi / (R_\chi + r_\chi)},$$

где R_χ и r_χ – соответственно радиусы валков и заготовки в сечении;
 Δr_χ – радиальное обжатие заготовки.

Общая длина контактной поверхности определяется как сумма длин во входном l_1 и выходном l_2 конусах очага деформации:

$$l = l_1 + l_2;$$

$$l_1 = (r_3 - r_n) / \operatorname{tg} \varphi_1;$$

$$l_2 = (r_r - r_n) / \operatorname{tg} \varphi_2/$$

где r_3 , r_r и r_n – радиусы заготовки, гильзы и половина расстояния между валками в пережиме;

φ_1 и φ_2 – угол входного и выходного конусов валков.

Разбивая общую длину контактной поверхности на ряд участков и подсчитывая среднюю ширину контактной поверхности для каждого из них, получим:

$$F = \sum (b'_\chi + b'_{\chi+1}) \Delta l / 2.$$

Равнодействующая усилия прошивки составляет с осью каждого валка плечо

$$d = (D_{max} + d_3) \sin \varphi / 2,$$

где D_{max} – диаметр валка в пережиме;

d_3 – диаметр заготовки в сечении пережима.

$$\sin \varphi \approx b_{cp} / d_3,$$

поэтому

$$d = \frac{D_{\max} + d_3}{2} - \frac{b_{\text{ср}}}{d_3}.$$

Момент, необходимый для вращения рабочих валков,

$$M_{\text{пр}} = 2P_r a.$$

Мощность двигателя

$$N_{\text{дв}} = M_{\text{пр}} w / \eta,$$

Где $M_{\text{пр}}$ - момент прокатки, кНм;

$W = \pi n / 30$ – угловая скорость вращения валка, 1/с;

η - КПД привода стана.

8.4. Трубоэлектросварочные станы

Производство труб электросваркой отличается значительными преимуществами перед производством бесшовных труб (непрерывность процесса, возможность изготовления тонкостенных труб большого диаметра, более простое и дешевое оборудование, возможность автоматизации процесса и т.д.).

В настоящее время электросварные трубы изготавливаются следующими способами [1,2].

1 контактная продольная электросварка сопротивлением (процесс непрерывный, диаметр изготавливаемых труб 6...660 мм, толщина стенки 0,4...20 мм, скорость сварки 8...60 м/мин);

2 контактная продольная электросварка с индукционным нагревом кромок (процесс непрерывный, диаметр изготавливаемых труб до 160 мм, толщина стенки 2,5...6 мм, скорость сварки до 2 м/мин);

3 контактная продольная электросварка оплавлением-вспышкой (процесс не непрерывный, диаметр изготавливаемых труб 170...815 мм, толщина стенки 7...15 мм, длина труб до 12 м. Продолжительность сварки одной трубы 30...40 с);

4 дуговая продольная электросварка электродом под слоем флюса (диаметр труб до 1800 мм, толщина стенки 3...14 мм, длина труб 6...12 м, скорость сварки до 2 м/мин);

5 дуговая электросварка электродом под слоем флюса спирально свернутых труб из полосы (процесс непрерывный, диаметр труб 159...2500 мм, толщина стенки трубы 4...25 мм, скорость сварки до 140 м/мин).

Технологический процесс производства сварных труб на перечисленных станах, конструкция оборудования изложены в источнике [2,с.532-562].

8.5. Контрольные вопросы

- 1 Различные способы получения труб. Сортамент. Агрегаты для получения бесшовных и шовных труб.
- 2 Оборудование для получения цельнокатаных труб (процесс прошивки, физика процесса, соотношение скоростей, эпюра распределения напряжений по сечению, калибровка валков).
- 3 Оборудование главной линии прошивного стана.
- 4 Состав и план расположения трубопрокатных агрегатов с пильгер-станом.
- 5 Процесс прокатки на пильгер-стане. Калибровка.
- 6 План расположения оборудования стана 400 с автоматическим станом.
- 7 Схема автоматического стана и его работа.
- 8 Схема прокатки на непрерывном и трехвалковом раскатных станах.
- 9 Какие существуют способы сварки труб?
- 10 В чем заключаются основные преимущества процесса получения сварных труб?
- 11 Состав оборудования стана 60 сварки труб сопротивлением.
- 12 Способы сварки труб оплавлением.
- 12 Способ спиральной сварки труб.
- 13 Состав оборудования стана печной сварки труб и его взаимодействие.