



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова»



УТВЕРЖДАЮ
Директор ИММиМ
А.С. Савинов

15.02.2022 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

ТЕХНОЛОГИИ И ОБОРУДОВАНИЕ ПРОКАТНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Направление подготовки (специальность)
22.04.02 Металлургия

Направленность (профиль/специализация) программы
Искусственный интеллект в металлургии

Уровень высшего образования - магистратура

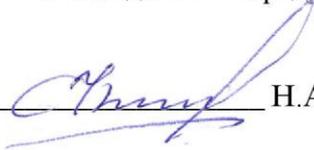
Форма обучения
очная

Институт/ факультет	Институт металлургии, машиностроения и материалообработки
Кафедра	Литейных процессов и материаловедения
Курс	1
Семестр	1

Магнитогорск
2022 год

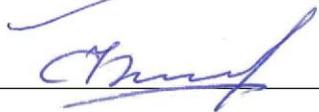
Рабочая программа составлена на основе ФГОС ВО - магистратура по направлению подготовки 22.04.02 Metallургия (приказ Минобрнауки России от 24.04.2018 г. № 308)

Рабочая программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры Литейных процессов и материаловедения
21.01.2022, протокол № 6

Зав. кафедрой  Н.А. Феоктистов

Рабочая программа одобрена методической комиссией ИММиМ
15.02.2022 г. протокол № 6

Председатель  А.С. Савинов

Рабочая программа составлена:
зав. кафедрой ЛПИМ, канд. техн. наук  Н.А. Феоктистов

Рецензент:
зав. кафедрой ПЭиБЖД, канд. техн. наук  А.Ю. Перятинский

Лист актуализации рабочей программы

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для реализации в 2023 - 2024 учебном году на заседании кафедры Литейных процессов и материаловедения

Протокол от _____ 20__ г. № ____
Зав. кафедрой _____ Н.А. Феоктистов

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для реализации в 2024 - 2025 учебном году на заседании кафедры Литейных процессов и материаловедения

Протокол от _____ 20__ г. № ____
Зав. кафедрой _____ Н.А. Феоктистов

1 Цели освоения дисциплины (модуля)

Дать будущим магистрам знания о физических явлениях и процессах, сопровождающих получение изделий прокаткой. Знание технологических основ формирования изделий позволит им управлять процессами формирования и изготовления качественной продукции; сформировать у студентов навыки по выбору способов и режимов подготовки исходного материала к обработке давлением, определять режимы нагрева, назначать способы и режимы обработки с целью получения требуемого качества

2 Место дисциплины (модуля) в структуре образовательной программы

Дисциплина Технологии и оборудование прокатного производства входит в часть учебного плана, формируемую участниками образовательных отношений образовательной программы.

Для изучения дисциплины необходимы знания (умения, владения), сформированные в результате изучения дисциплин/ практик:

Современные конструкционные и инструментальные материалы

Экспертиза металлов и металлоизделий

Модифицирование поверхностей

Специальные чугуны и стали

Производственная практика, преддипломная практика

Производственная практика, научно-исследовательская работа

3 Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины (модуля) и планируемые результаты обучения

В результате освоения дисциплины (модуля) «Технологии и оборудование прокатного производства» обучающийся должен обладать следующими компетенциями:

Код индикатора	Индикатор достижения компетенции
ПК-3	Способен разрабатывать и обосновывать предложения по совершенствованию технологических процессов и оборудования прокатного производства
ПК-3.1	Знает: технологические процессы и оборудование прокатного производства, их влияние на качество металлопродукции; технологические процессы и оборудование литейно-прокатных агрегатов; принципы их автоматизации
ПК-3.2	Умеет: обосновать предложения по совершенствованию технологических процессов и оборудования прокатного производства
ПК-3.3	Имеет практический опыт: разрабатывать предложения по совершенствованию технологических процессов и оборудования прокатного производства, применяя компьютерное моделирование и цифровые технологии
ПК-4	Способен проводить анализ технологических процессов для выработки предложений по управлению качеством продукции
ПК-4.1	Знает: современные методы исследования материалов и процессов; металловедческие основы технологических процессов производства изделий; современные конструкционные и инструментальные материалы; методы повышения качества продукции модифицированием их поверхности; технологические процессы, их влияние на качество продукции; принципы проведения экспертизы металлов и металлоизделий; технологические процессы, принципы их компьютерного моделирования и влияние на качество продукции; технологические процессы, принципы построения их

	цифровых двойников; автоматизированные технологические агрегаты прокатного производства
ПК-4.2	Умеет: проводить анализ технологических процессов для выработки предложений по управлению качеством продукции, используя современные методы исследования материалов и процессов, компьютерное моделирование и цифровые технологии
ПК-4.3	Имеет практический опыт: анализа технологических процессов для выработки предложений по управлению качеством продукции, используя современные методы исследования материалов и процессов, компьютерное моделирование; анализа технологических процессов для разработки требований к цифровому двойнику

4. Структура, объём и содержание дисциплины (модуля)

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 зачетных единиц 108 акад. часов, в том числе:

- контактная работа – 32 акад. часов;
- аудиторная – 32 акад. часов;
- внеаудиторная – 0 акад. часов;
- самостоятельная работа – 40 акад. часов;
- в форме практической подготовки – 0 акад. час;
- подготовка к экзамену – 36 акад. час

Форма аттестации - экзамен

Раздел/ тема дисциплины	Семестр	Аудиторная контактная работа (в акад. часах)			Самостоятельная работа студента	Вид самостоятельной работы	Форма текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации	Код компетенции
		Лек.	лаб. зан.	практ. зан.				
1. Основные виды и характеристики процессов ОМД								
1.1 Основные виды и характеристики процессов ОМД	1	1						ПК-3.1, ПК-3.2, ПК-3.3
Итого по разделу		1						
2. Общая характеристика основных прокатных								
2.1 Общая характеристика основных прокатных переделов	1	2						ПК-3.1, ПК-3.2, ПК-3.3
2.2 Общие характеристики прокатных переделов				2				ПК-3.1, ПК-3.2, ПК-3.3
Итого по разделу		2		2				
3. Основные технологические операции в процессах								
3.1 Основные технологические операции в процессах	1	3						ПК-3.1, ПК-3.2, ПК-3.3
3.2 Основные технологические операции прокатки				2				ПК-3.1, ПК-3.2, ПК-3.3
Итого по разделу		3		2				
4. Калибровка прокатных валков								
4.1 Калибровка прокатных валков	1	4		3				ПК-3.1, ПК-3.2, ПК-3.3, ПК-4.1, ПК-4.2, ПК-4.3
4.2 Расчет калибровки валков для прокатки различных сортовых профилей				3				ПК-3.1, ПК-3.2, ПК-3.3, ПК-4.1, ПК-4.2, ПК-4.3
Итого по разделу		4		6				

5. Производство сортовых, листовых, фасонных профилей и специальных								
5.1 Производство сортовых, листовых, фасонных профилей и специальных видов проката	1	3					ПК-3.1, ПК-3.2, ПК-3.3, ПК-4.1, ПК-4.2, ПК-4.3	
Итого по разделу		3						
6. Технический контроль качества проката								
6.1 Технический контроль качества проката	1	1					ПК-3.1, ПК-3.2, ПК-3.3, ПК-4.1, ПК-4.2, ПК-4.3	
6.2 Расчет режимов деформации и ЭСП на листовых станах				2			ПК-3.1, ПК-3.2, ПК-3.3, ПК-4.1, ПК-4.2, ПК-4.3	
Итого по разделу		1		2				
7. Валки и валковое хозяйство. Вальцетокарное								
7.1 Валки и валковое хозяйство. Вальцетокарное производство	1	2					ПК-3.1, ПК-3.2, ПК-3.3, ПК-4.1, ПК-4.2, ПК-4.3	
7.2 Валки и валковое хозяйство				4			ПК-3.1, ПК-3.2, ПК-3.3, ПК-4.1, ПК-4.2, ПК-4.3	
7.3 Рефераты по темам разделов					40	Основная литература 1-3. Дополнительная литература 1-3	Защита рефератов	ПК-3.1, ПК-3.2, ПК-3.3, ПК-4.1, ПК-4.2, ПК-4.3
7.4 Промежуточная аттестация						Основная литература 1-3. Дополнительная литература 1-3	Экзамен	ПК-3.1, ПК-3.2, ПК-3.3, ПК-4.1, ПК-4.2, ПК-4.3
Итого по разделу		2		4	40			
Итого за семестр		16		16	40		экзамен	
Итого по дисциплине		16		16	40		экзамен	

5 Образовательные технологии

Для реализации предусмотренных видов учебной работы в качестве образовательных технологий в преподавании дисциплины «Технологии и оборудование прокатного производства» используются традиционная и модульно - компетентностная технологии.

Для изучения дисциплины «Технологии и оборудование прокатного производства» предусмотрены практические занятия в компьютерном классе. В рамках интерактивного обучения применяется ИТ-методы (использование сетевых мультимедийных учебников разработчиков программного обеспечения, электронных образовательных ресурсов по данной дисциплине, в том числе и ЭОР кафедры); метод обучения в сотрудничестве – прохождение всех этапов и методов работы с ЭВМ; проблемное обучение; индивидуальное обучение.

Реализация компетентностного подхода предусматривает использование в учебном процессе активных и интерактивных форм проведения занятий в сочетании с внеаудиторной работой с целью формирования и развития профессиональных навыков обучающихся.

При проведении учебных занятий обеспечивается развитие у обучающихся навыков командной работы, межличностной коммуникации, принятия решений, лидерских качеств.

Используются следующие виды и формы занятий с использованием традиционных и инновационных технологий:

Практическое занятие, посвященное освоению конкретных умений и навыков по предложенному алгоритму.

Технологии проблемного обучения – организация образовательного процесса, которая предполагает постановку проблемных вопросов, создание учебных проблемных ситуаций для стимулирования активной познавательной деятельности студентов.

Практическое занятие в форме практикума – организация учебной работы, направленная на решение комплексной учебно-познавательной задачи, требующей от студента применения как научно-теоретических знаний, так и практических навыков.

Технологии проектного обучения – организация образовательного процесса в соответствии с алгоритмом поэтапного решения проблемной задачи или выполнения учебного задания. Проект предполагает совместную учебно-познавательную деятельность группы студентов, направленную на выработку концепции, установление целей и задач, формулировку ожидаемых результатов, определение принципов и методик решения поставленных задач, планирование хода работы, поиск доступных и оптимальных ресурсов, поэтапную реализацию плана работы, презентацию результатов работы, их осмысление и рефлексия.

Интерактивные технологии – организация образовательного процесса, которая предполагает активное и нелинейное взаимодействие всех участников, достижение на этой основе лично значимого для них образовательного результата. Наряду со специализированными технологиями такого рода принцип интерактивности прослеживается в большинстве современных образовательных технологий. Интерактивность подразумевает субъект-субъектные отношения в ходе образовательного процесса и, как следствие, формирование саморазвивающейся информационно-ресурсной среды.

6 Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

Представлено в приложении 1.

7 Оценочные средства для проведения промежуточной аттестации

Представлены в приложении 2.

8 Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)

а) Основная литература:

1. Машины и агрегаты металлургических заводов Т. 1 Машины и агрегаты доменных цехов Учебник для студ. вузов по спец."Мех. оборуд. з-дов чер. металлургии"и"Металлургия чер. металлов". - М.: Металлургия, 1976. - 415 с. ил.

2. Машины и агрегаты металлургических заводов Т. 2 Машины и агрегаты сталеплавильных цехов Учебник для вузов по спец."Мех. оборуд. здов чер. металлургии"и"Металлургия чер. металлов". - М.: Металлургия, 1978. - 328 с. ил.

3. Машины и агрегаты металлургических заводов Т. 3 Машины и агрегаты для производства и отделки проката Учебник для металлург. и машиностроит. спец. вузов: В 3 т. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Металлургия, 1988. - 679 с. ил.

4. Теория прокатки Справочник Под науч. ред. В. И. Зюзина, А. В. Третьякова. - М.: Металлургия, 1982. - 334 с.

б) Дополнительная литература:

1. Теория и технология прокатки [Текст] темат. сб. науч. тр., посвящ. 75-летию со дня рождения В. Н. Выдрина под ред. В. Г. Дукмасова ; Челябин. гос. техн. ун-т, Каф. Обработка металлов давлением (прокатка) ; ЮУрГУ. - Челябинск: Южно-Уральское книжное издательство, 1995. - 189 с. ил.

2. Энергосиловые параметры процесса прокатки на станах сортового передела [Текст] учеб. пособие для самостоят. работы Ф. С. Дубинский, А. В. Выдрин, В. И. Крайнов, А. В. Шаламов ; Юж.-Урал. гос. ун-т, Каф. Обработ. металлов давлением (прокатка) ; ЮУрГУ. - Челябинск: Издательство ЮУрГУ, 2001. - 29, [2] с. ил.

3. Баричко, Б. В. Основы технологических процессов ОМД [Текст] конспект лекций Б. В. Баричко, Ф. С. Дубинский, В. И. Крайнов ; Юж.-Урал. гос. ун-т, Каф. Обработка металлов давлением ; ЮУрГУ. - Челябинск: Издательство ЮУрГУ, 2008. - 130, [1] с. ил.

4. Дубинский, Ф. С. Технология процессов прокатки и волочения [Текст] Ч. 1 конспект лекций Ф. С. Дубинский. В. И. Крайнов, Б. В. Баричко; Юж.-Урал. гос. ун-т, Каф. Обработ. металлов давлением ; ЮУрГУ. - Челябинск: Издательство ЮУрГУ, 2007. - 147, [1] с. ил.

в) Методические указания:

1. Энергосиловые параметры
2. Основы технологии ОМД

г) Программное обеспечение и Интернет-ресурсы:

Программное обеспечение

Наименование ПО	№ договора	Срок действия лицензии
MS Office 2007 Professional	№ 135 от 17.09.2007	бессрочно
7Zip	свободно распространяемое ПО	бессрочно
Kaspersky Endpoint Security для бизнеса-Стандартный	Д-162-21 от 26.03.2021	26.03.2023
MS Visual Studio 2017 Community Edition	свободно распространяемое ПО	бессрочно

Браузер	свободно	бессрочно
Браузер Mozilla	свободно распространяемое ПО	бессрочно
FAR	свободно	бессрочно

Профессиональные базы данных и информационные справочные системы

Название курса	Ссылка
Электронная база периодических изданий East View Information	https://dlib.eastview.com/
Национальная информационно-аналитическая система – Российский индекс	URL: https://elibrary.ru/project_risc.asp
Поисковая система Академия Google (Google Scholar)	URL: https://scholar.google.ru/
Информационная система - Единое окно доступа к информационным	URL: http://window.edu.ru/
Российская Государственная библиотека. Каталоги	https://www.rsl.ru/ru/4readers/catalogues/
Электронные ресурсы библиотеки МГТУ им. Г.И. Носова	https://magtu.informsystema.ru/Marc.html?locale=ru
Архив научных журналов «Национальный электронно-информационный	https://archive.neicon.ru/xmlui/

9 Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)

Материально-техническое обеспечение дисциплины включает:

Основное оборудование, стенды, макеты, компьютерная техника, предустановленное программное обеспечение, используемое для различных видов занятий:

- Самостоятельная работа студента: персональные компьютеры с пакетом MS Office, выходом в Интернет и с доступом в электронную информационно- образовательную среду университета. доска, проектор, компьютер, стеллажи для хранения учебно-наглядных пособий и учебно-методической документации;

- Лекция: персональные компьютеры с пакетом MS Office, выходом в Интернет и с доступом в электронную информационно- образовательную среду университета. доска, проектор, компьютер, стеллажи для хранения учебно-наглядных пособий и учебно-методической документации;

- Экзамен: персональные компьютеры с пакетом MS Office, выходом в Интернет и с доступом в электронную информационно- образовательную среду университета. доска, проектор, компьютер, стеллажи для хранения учебно-наглядных пособий и учебно-методической документации;

- Практические занятия и семинары: персональные компьютеры с пакетом MS Office, выходом в Интернет и с доступом в электронную информационно- образовательную среду университета. доска, проектор, компьютер, стеллажи для хранения учебно-наглядных пособий и учебно-методической документации.

6 Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

Самостоятельная работа с учебными материалами, разбор тем, изученных на лекциях и практических занятиях, разбор решенных заданий.

Обучающиеся изучают источники из списка основной и дополнительной литературы. Предполагается самостоятельное изучение ресурсов по предметной области курса в сети интернет.

Методические рекомендации по подготовке к практическим занятиям представлены в приложении к рабочей программе дисциплины.

Рефераты по темам разделов. Обучающиеся выбирают темы итогового задания – самостоятельно (обязательно согласование с преподавателем) или из списка предложенных тем. Используют полученные знания для разведочного анализа данных, проводят выбор способа предобработки данных, выбор способа решения поставленной задачи, проводят оптимизацию гиперпараметров. Методические рекомендации по самостоятельному изучению теоретического материала представлены в приложении к рабочей программе дисциплины.

7 Оценочные средства для проведения промежуточной аттестации

а) Планируемые результаты обучения и оценочные средства для проведения промежуточной аттестации:

Структурный элемент компетенции	Планируемые результаты обучения	Оценочные средства
ПК-3	Способен разрабатывать и обосновывать предложения по совершенствованию технологических процессов и оборудования прокатного производства	
	Знает: технологические процессы и оборудование прокатного производства, их влияние на качество металлопродукции; технологические процессы и оборудование литейно-прокатных агрегатов; принципы их автоматизации	Вопросы на экзамен: 1. Профиле-марочный сортамент 2. Стандарты на сортамент 3. Ручей, калибр, калибровка 4. Классификация калибров 5. Основные элементы и размеры калибров 6. Основные элементы и размеры валков 7. Расположение на валках симметричных калибров 8. Расположение на валках несимметричных калибров 9. Нейтральная линия калибра и методы ее определения 10. Коэффициенты деформации
	Умеет: обосновать предложения по совершенствованию технологических процессов и оборудования прокатного производства	Перечень примерных практических заданий: Задания для студентов указана в приложении 4
	Имеет практический опыт: разрабатывать предложения по совершенствованию технологических процессов и оборудования прокатного производства, применяя компьютерное моделирование и цифровые технологии	Вопросы на экзамен: 1. Коэффициент трения 2. Уширение металла при прокатке 3. Температурные режимы прокатки 4. Скоростные режимы прокатки 5. Ограничения режимов деформации 6. Устойчивость полосы в валках 7. Критерии технологической оценки 8. Системы калибров(распространенные) 9. Универсальная система калибров

		10. Нестандартные системы калибров
ПК-4 Способен проводить анализ технологических процессов для выработки предложений по управлению качеством продукции		
	<p>Знает: современные методы исследования материалов и процессов; металлургические основы технологических процессов производства изделий; современные конструкционные и инструментальные материалы; методы повышения качества продукции модифицированием их поверхности; технологические процессы, их влияние на качество продукции; принципы проведения экспертизы металлов и металлоизделий; технологические процессы, принципы их компьютерного моделирования и влияние на качество продукции; технологические процессы, принципы построения их цифровых двойников; автоматизированные технологические агрегаты прокатного производства</p>	<p>Вопросы на экзамен:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Схемы прокатки 2. Основные методы расчета 3. Последовательность расчета 4. Формирование исходных данных 5. Разработка схемы прокатки 6. Расчет формоизменения (различными методами) 7. Эмпирические методы 8. По законам механики деф. тела 9. Методы приведения 10. Конструирование калибров
	<p>Умеет: проводить анализ технологических процессов для выработки предложений по управлению качеством продукции, используя современные методы исследования материалов и процессов, компьютерное моделирование и цифровые технологии</p>	<p>Перечень примерных практических заданий:</p> <p>Задания для студентов указана в приложении 4</p>
	<p>Имеет практический опыт: анализа технологических процессов для выработки предложений по управлению качеством продукции, используя современные методы исследования материалов и процессов, компьютерное моделирование; анализа технологических процессов для разработки требований к цифровому двойнику</p>	<p>Вопросы на экзамен:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Расчет температурно-скоростных режимов 2. Расчет энергосиловых параметров 3. Расчет скоростных режимов 4. Проверка ограничений 5. Критерии и методы оценки эффективности 6. Рабочие валки вальцетокарного производства 7. Валковая арматура 8. Износостойкость валков 9. Шаблоны и контршаблоны 10. Калибровка валков обжимных станов

б) Порядок проведения промежуточной аттестации, показатели и критерии оценивания:

Контроль качества освоения образовательной программы осуществляется в соответствии с Положением о балльно-рейтинговой системе оценивания результатов учебной деятельности обучающихся.

Защита рефератов. Студент выполняет рефераты по темам разделов (всего 7 рефератов). Преподаватель задает студенту 2 вопроса по теме реферата. При оценивании результатов мероприятия используется балльно-рейтинговая система оценивания результатов учебной деятельности обучающихся. Если студент правильно ответил на 2 вопроса, ему начисляется 3 балла, если студент ответил на 1 вопрос, ему начисляется 1 балл, студент не ответил на поставленные вопросы 0 баллов.

Экзамен. Студент отвечает на вопросы билета. В билете 3 вопроса. При оценивании результатов мероприятия используется балльно-рейтинговая система оценивания результатов учебной деятельности обучающихся. За каждый правильный и полный ответ студенту начисляется 27 баллов. За неполный ответ на вопрос студенту начисляется 18-23 балла. Студент не смог ответить на поставленный вопрос – 0 баллов.

Перечень тем для рефератов

1. Основные виды и характеристики процессов ОМД
2. Общая характеристика основных прокатных переделов
3. Основные технологические операции в процессах ОМД
4. Калибровка прокатных валков
5. Производство сортовых, листовых, фасонных профилей и специальных видов проката
6. Технический контроль качества проката
7. Валки и валковое хозяйство. Вальцетокарное производство

КАЛИБРОВКА ВАЛКОВ И ПРОКАТНЫХ ПРОФИЛЕЙ
Курс лекций

Профессор Дубинский Ф.С.

СОДЕРЖАНИЕ

для электронного варианта

Литература

Введение

1. Сортамент прокатных изделий

- 1.1. Профиле-марочный сортамент
- 1.2. Стандарты на сортамент

Задания для студентов

2. Основные понятия и положения

- 2.1. Ручей, калибр, калибровка
- 2.2. Классификация калибров
- 2.3. Основные элементы и размеры калибров
- 2.4. Основные элементы и размеры валков
- 2.5. Расположение на валках симметричных калибров
- 2.6. Расположение на валках несимметричных калибров
- 2.7. Нейтральная линия калибра и методы ее определения
- 2.8. Коэффициенты деформации
- 2.9. Коэффициент трения
- 2.10. Уширение металла при прокатке
- 2.11. Температурные режимы прокатки
- 2.12. Скоростные режимы прокатки
- 2.13. Ограничения режимов деформации
- 2.14. Устойчивость полосы в валках

Задания для студентов

3. Системы вытяжных и черновых калибров

- 3.1. Критерии технологической оценки
- 3.2. Системы калибров(распространенные)
- 3.3. Универсальная система калибров
- 3.4. Нестандартные системы калибров
- 3.5. Схемы прокатки

Задания для студентов

4. Расчет калибровки на сортовых станах

- 4.1. Основные методы расчета
- 4.2. Последовательность расчета
- 4.3. Формирование исходных данных
- 4.4. Разработка схемы прокатки
- 4.5. Расчет формоизменения (различными методами)
 - 4.5.1. Эмпирические методы
 - 4.5.2. По законам механики деф. тела
 - 4.5.3. Методы приведения
- 4.6. Конструирование калибров
- 4.7. Расчет температурно-скоростных режимов
- 4.8. Расчет энергосиловых параметров
- 4.9. Расчет скоростных режимов
- 4.10. Проверка ограничений
- 4.11. Критерии и методы оценки эффективности

Задания для студентов

5. Расчет режимов деформации при прокатке листов.

- 5.1. Методы расчета
- 5.2. Определение размеров заготовок
- 5.3. Расчет по коэффициентам высотной деформации
- 5.4. Расчет по коэффициентам относительной деформации
- 5.5. Расчет по показателям относительной энергоемкости;

- 5.6. Прокатка с задачей раската на «угол»
- 5.7. Расчет скоростных и температурных режимов
- 5.8. Расчет энергосиловых параметров
- 5.9. Профилировка валков листовых станов

Задания для студентов

6. Вальцетокарное производство

- 6.1. Рабочие валки
- 6.2. Валковая арматура
- 6.3. Износостойкость валков
- 6.4. Обработка валков
- 6.5. Шаблоны и контршаблоны

Задания для студентов

7. Автоматизированное проектирование калибровки

Задания для студентов

8. Калибровка валков обжимных станов

9. Калибровка валков заготовочных станов

10. Прокатка круглых профилей

11. Калибровка шестигранной стали

12. Калибровка арматурной стали

13. Калибровка полосовой стали

14. Калибровка фасонных профилей

- 14.1. Уголок
- 14.2. Балочные профили
- 14.3. Рельсовые профили
- 14.4. Специальные виды проката

15. Калибровка валков с многовалковыми калибрами

- 15.1. Трехвалковые калибры
- 15.2. Четырехвалковые калибры

16. Приложения

- 16.1.
- 16.2.
- 16.3.

Практические занятия

1. Первое семестровое задание
2. Второе семестровое задание
3. Третье семестровое задание
4. Задачи по разделам курса

Литература

1. Литовченко Н.В. Калибровка профилей и валков прокатных станов. –М. Металлургия,1990
2. Смирнов В.К. Калибровка прокатных валков /В.К. Смирнов, В.А. Щилов , Ю.В. Инатович. М. Металлургия ,1987.
3. Чекмарев А.П. и д.р. Калибровка прокатных валков/ А.П. Чекмарев , М.С. Мутьев , Р.А. Мащковцев. – М. Металлургия ,1971
4. Литовченко Н.В. Станы и технология прокатки листовой стали. –М. Металлургия. 1979.
5. Протасов А.А. Калибровка прокатных валков. Сборник задач по технологии горячей и холодной прокатки стали и сплавов. М. Металлургия. 1972.

Дополнительная.

1. Скороходов Н.Е. и д.р. Калибровка сложных профилей. –М. Металлургия. 1979.
2. Бахтинов В.Б., Бахтинов Ю.Б. Производство профилей переменного сечения .-М . Металлургия . 1981
3. Камановский А.З. Листопрокатное производство: Справочник. . – Металлургия . 1979.
4. Тулупов С.А. Гумм Г.С. и д.р. Эффективность деформации сортовых профилей. - М. Металлургия 1990.
5. Коновалов Д.В. Расчет параметров листовой стали: Справочник.- 1986г.
6. Прокатные станы. Справочник.
Том1-обжимные, заготовочные и сортопрокатные.
Том2– мелкосортные и специальные
Том3- листопрокатные, профильные.

Учебные пособия.

7. Дубинский Ф.С. Крайнов В.И. Расчет ЭСП процесса прокатки с применением ЭВМ: Учебное пособие, 1994 г.
8. Крайнов В.И ,Дубинский Ф.С. Калибровка прокатных валков: Учебное пособие к лабораторным работам, 1991 г.
9. Крайнов В.И., Дубинский Ф.С. Калибровка валков блюминга 2001 г.
10. Дубинский Ф.С.,Выдрин А.В., Крайнов В.И. Энергосиловые параметры процессов прокатки на станах сортового передела: Учебное пособие, 2001 г.
11. Дубинский ФС, Соседкова МА. Расчет температурных режимов горячей прокатки на ЭВМ: Учебное пособие.-1998г.
12. Крайнов В.И,Дубинский Ф.С. Технология прокатки и волочения черных и цветных сталей: Методические указания к курсовому проектированию.- 1999г.

М

Введение

Краткий очерк развития производства с ОМД

Самым ранним видом ОМД является ковка. Кованные железные серпы в России изготавливались уже в 9 веке. Тогда же появилось кованное оружие мечи, секиры, щиты, шлемы и т. д. Вторым видом ОМД является волочение.

1495 Леонардо да Винчи впервые описал прокатный стан для производства свинцовых полос.

В 17 – 18 веках для обработки металла (железа) начали использовать прокатные станы.

1699 Демидов основал Невклянский завод на Урале. Это было началом быстрого роста черной металлургии Урала. В 18 веке на Урале работало 120 заводов. Станы использовались для плющения заготовки в полосу или лист. А вообще на Урале металлургические заводы появились с 1631 г. Ницыжский .

1783 Английский инженер Генри Корт изобрел прокатный стан с калиброванными ручьями.

1826 В России установлен прокатный стан с калиброванными ручьями на Александровском заводе в Петербурге. Стали появляться листопрокатные станы. Каждый валок вращался от собственного водоналивного колеса.

В 18 – 19 веках для привода валков стали применять паровые машины, в это же время идет развитие железных дорог.

1843 В России прокатан первый рельс в Петербурге. Потребность в рельсах растет в связи с постройкой Николаевской железной дороги.

1871 Галлей (США) создал первый блюминг.

1875 Начало развития трубной промышленности в России. В Санкт – Петербурге построен трубный завод.

1892 В Бельгии установлен первый непрерывно – листовой стан.

1894 Морган (США) построил первый непрерывно – заготовочный стан.

В период пятилетних планов произведена революция в отечественной промышленности. Построен ряд металлургических заводов и осуществлена реконструкция старых заводов, построены заводы тяжелого машиностроения; Построены непрерывные станы, блюминги для прокатки крупных слитков.

Так, в 1931 году пущен первый в СССР крупный завод ферросплавов в г. Челябинск.

1932 г. – вошли в строй Магнитогорский и кузнецкий комбинаты – крупнейшие в мире металлургические предприятия.

1933 г. – на Днепродзержинском и Макеевском металлургических заводах введены два первых советский блюминга, изготовленные Ижевским заводом.

1934 г. – пущен крупнейший в стране Первоуральский трубопрокатный завод.

1938 г. – начаты первые опыты по непрерывной разливке стали.

1942 г. – введен в действие Челябинский трубопрокатный завод.

1943 г. – введен в эксплуатацию металлургический завод в городе Челябинске.

За заслуги перед страной в 1957 году приказом Президиума Верховного Совета СССР установлен ежегодный праздник День металлурга – третье воскресенье июля.

1. Сортамент прокатных изделий

- Профильный (форма поперечного сечения)
- Марочный

Список всех профилей называется сортаментом.

Сортамент.

- Сортовой прокат.
- Листовой прокат
- Трубы
- Специальные виды проката.

Сортовой прокат.

- Профили общего назначения:
 - 1) простые (круг, квадрат)
 - 2) фасонные (уголок)
- Фасонные профили специального назначения (рельсы).

По размерам прокатные профили делятся:

Катанка 6-10, мелкий сорт 10-30, средний сорт 30-70, крупный сорт

Катанка - круглые профили мелкого сечения.

Виды станов:

- Мелкосортные станы: 250; 280; 300.
- Среднесортные станы: 350; 400; 450.
- Крупносортные станы: 600; 780; 800; 950.
- Проволочные станы: 240; 250; 280.
- НЗС 900/700/500, и др. заготовочные.

-Блюминги

Цифра в названии стана сортового передела означает расстояния между осями валков шестеренной клетки.

Последней клетки стана (примерный диаметр валков этой последней клетки).

Для блюминга это минимальный диаметр валков (там нет шестеренной клетки).

В листовых станах цифра обозначает максимальную ширину листа которую можно прокатать или 1 бочки.

Традиционные способы прокатки сортовых профилей - в горячем состоянии, но часть фасонных и легких

профилей прокатывают в холодном состоянии.

Листовой прокат.

Лист бывает толстый и тонкий (до 4 мм), горячекатаный и холоднокатаный. При этом тонкий лист катают и в

горячем и в холодном состоянии.

По назначению:

- броневой
- электротехнический
- кровельный лист

Трубы.

Бывают цельнокатаные, холоднокатаные либо холодноотянутые.

Специальные виды проката:

- шары, обода, валы переменных сечений.

2. Основные понятия и положения калибровки прокатных валков

По размерам прокатные профили делятся на:

катанку 6-10, мелкий сорт 10-30, средний сорт 30-70, крупный сорт выше 70мм.

Катанка – круглые профили мелкого сечения.

Виды станов:

- Мелкосортные станы: 250; 280; 300.
- Среднесортные станы: 350; 400; 450.

-Крупносортные станы: 600; 780; 800; 950.

-Проволочные станы: 240; 250; 280.

-НЗС 900/700/500, и др. заготовочные.

-Блюминги.

Цифра в названии стана сортового передела означает расстояние между осями валков шестерённой клетки или последней клетки стана (примерный диаметр валков этой последней клетки).

Для блюминга это минимальный диаметр валков (там нет шестерённой клетки).

В листовых станах цифра обозначает максимальную ширину листа, которую можно прокатать или длину бочки валка.

Традиционные способы прокатки сортовых профилей – в горячем состоянии, но часть фасонных и лёгких профилей прокатывают в холодном состоянии.

Профили листовой, прямоугольной формы можно прокатать на цилиндрических валках.

При прокатке сортовых профилей на валках нарезают ручьи.

2.1. Ручей, калибр, калибровка

Ручей – кольцевой вырез или выступ на валках.

Калибр – часть межвалкового пространства, в пределах которого происходит пластическая деформация.

Калибр – межвалковое пространство, образованное двумя или несколькими ручьями двух или нескольких валков в их рабочем положении, включая зазор между валками.

Калибры по форме ручьёв бывают образованы:

-двумя впадинами на двух валках,

-двумя выступами на двух валках,

-двумя гладкими бочками (безручьевые),

-комбинированные.

Пусть требуется получить из круга диаметром 14 мм круг диаметром 12 мм. (Рис. 1).

Нужно сделать 2 прохода ($n=2$). При этом формы перехода сечений – овальная и круглая.

Требуется так выбрать форму калибров и назначить такие режимы прокатки, чтобы получить из данной заготовки требуемый профиль. При этом каждый калибр должен иметь хорошее заполнение. При неправильных режимах может быть незаполнение или переполнение.

Степень заполнения (δ) – отношение ширины полосы (B_1) к ширине калибра (B_k) или площади полосы (S_1) к площади калибра (S_k).

$$\delta = B_1/B_k = S_1/S_k.$$

$\delta = 0,8 \dots 0,95$ для черновых клетей, $0,95 \dots 0,98$ для чистовых клетей.

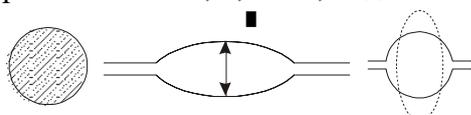


Рис. 1 Получение из круга диаметром 14 мм круга диаметром 12 мм.

Под калибровкой профилей и валков понимают — определение количества, форм и размеров переходных сечений, назначение режимов прокатки, конструирование калибров и размещение их на валках для получения требуемого профиля из заданной заготовки. Таким образом, понятие калибровки можно разбить на:

- калибровку профиля;
- калибровку валков;
- определение режимов и силовых показателей.

Правильно разработанная калибровка должна обеспечивать:

-требуемую форму изделия,

-требуемую точность размеров,

-требуемые свойства,

-требуемое качество поверхности,

- максимальную производительность,
- максимальный выход годного продукта,
- минимальный расход энергии,
- получение желаемой температуры в любой точке стана,
- минимальный износ инструмента (валков и привалковой арматуры),
- удобство обслуживания и простоту валков и валковой арматуры,
- минимальную себестоимость.

2.2 Классификация калибров

Калибры классифицируют по:

- форме;
- назначению;
- расположению на валках;
- наличию осей симметрии;
- форме ручьев, образующих калибр;
- количеству валков, образующих калибр;
- равноосности.

По форме:

- простые (круг, квадрат, ящичный, ромб, овал, шестигранный, шестиугольный и др.) (Рис.2),
- фасонные (балочный, швеллерный и др.).

По назначению:

- обжимные,
- черновые,
- предчистовые,
- чистовые.

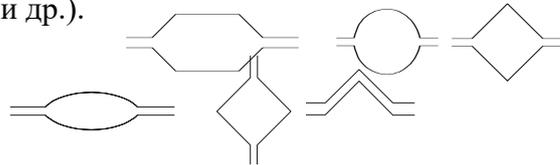


Рис.2 Примеры простых по форме калибров.

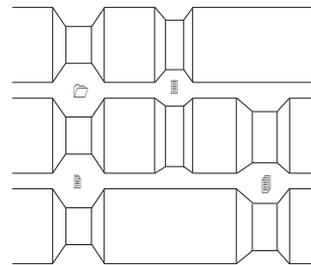
По расположению калибров на валках (Рис.3):

- открытые;-закрытые;-полузакрытые;-диагональные.

Рис.3 Примеры открытого и закрытого калибров.



Рис.4 Примеры сопряжённого и несопряжённого калибров.



Для клеток трио калибры бывают (Рис.4):

- сопряженные (1,2),
- несопряженные (3,4).

По наличию осей симметрии (Рис.5):

- с двумя осями симметрии (круг, квадрат, ящик),
- с одной осью симметрии (уголок),
- не имеющие осей симметрии (неравнобокий уголок).

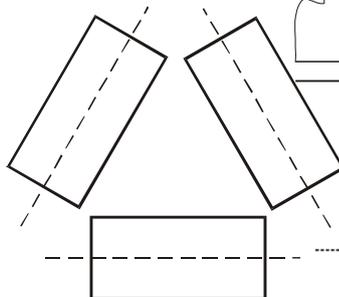
Рис.5 Деление калибров по наличию осей симметрии.

По количеству валков образующих калибр:

- двухвалковые,

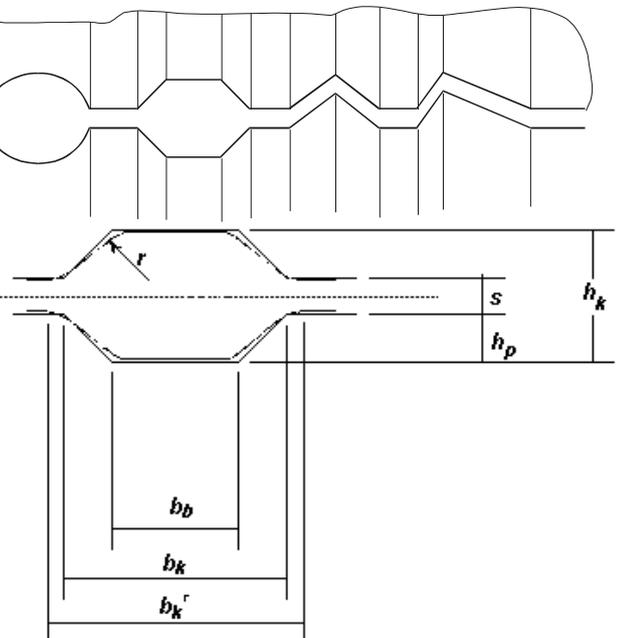
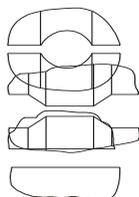
- многовалковые (Рис.6).

Рис.6
Пример
многовалкового
калибра.



По форме ручьев, образующих калибр (Рис.7):

- ручьи в виде вырезов,
- ручьи в виде выступов,
- гладкие валки,



-комбинация форм.

Рис.7 Виды калибров по форме ручьёв, их образующих.

По равноосности:

-равноосные,

-неравноосные.

Рис.8 Основные размеры и элементы калибров на примере ящичного калибра.

2.3. Основные размеры и элементы калибров

Основные размеры калибров рассмотрим на примере ящичного калибра (*Рис.8*).

H_k - высота калибра, H_p - глубина ручья, S - зазор между валками. $H_k = 2H_p + S$.

Зазор настроечный меньше зазора в рабочем положении.

В рабочем положении: $H_1 = H_k$, а в настроечном: $H_k < H_1$. H_1 - высота полосы.

Зазор S служит для того, чтобы:

- компенсировать износ калибров (валков),
- предотвратить поломку,
- уменьшить трение.

$S = (0.002 \dots 0.025) D_b$, см. табл. 1.1. стр. 13 / 2 /

Для обжимных калибров $S = (0.01 \dots 0.015) D_b$, для других калибров $S = (0.005 \dots 0.01) D_b$.

Ширина калибра:

B_v - по вершине (дну) калибра, B_k - ширина калибра, B_{kg} - геометрическая ширина калибра.

Радиусы закругления нужны для того, чтобы:

- лучше заполнялся калибр,
- износ валков был меньше,
- уменьшить концентрации напряжений,
- не было трещин по острым углам,
- не подрезалась полоса при переполнении.

Закругления r и r_1 :

r — радиус закругления по вершине калибра.

$r = (0.1 \dots 0.15) h_k$; $r_{kv} = (0.15 \dots 0.2) a$, где a - сторона квадрата.

r_1 — радиус сопряжения ручья с буртом.

$r_1 \leq r$; $r_1 \approx s$; $r_1 = (0.09 \dots 0.13) h_k$

Выпуск калибра:

Под выпуском калибра понимают тангенс угла наклона боковой стенки калибра.

$\text{tg}\varphi = (B_k - B_v) / (2 * H_p)$, выражается в долях или %.

Выпуск обеспечивает:

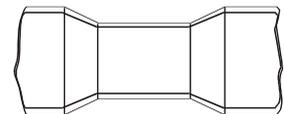
- лучший захват металла при прокатке,
- стабильный прямолинейный выход полосы из валков без «оковывания» их,
- хороший ремонт с соблюдением первоначальных размеров ручьёв (при переточке валков).

Чем больше выпуск, тем меньше нужно снимать металла при износе. Выпуск делается на многих видах калибров, даже на круглом калибре.

Величина износа и уменьшение диаметров валков при износе

связаны зависимостью (*Рис.9*): $\Delta D = 2a / \sin\varphi$.

Рис.9 Уменьшение диаметров валков при износе обусловлено выпуском.



Бурты:

Бурты бывают промежуточные и крайние.

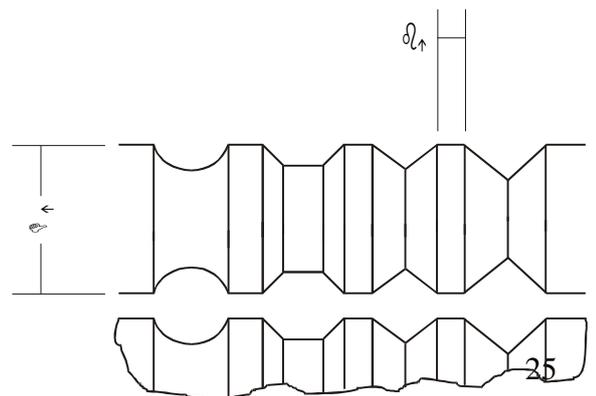
Промежуточные бурты выбирают так, чтобы их не скальвало и не сминало (*Рис.10*).

Ширина бурта: $B_b = H_p$ - для чугунных валков,

$B_b = H_p / 2$ - для стальных валков.

Ширину крайних буртов выбирают в зависимости от конструкции клетки и привалковой арматуры.

Бурты делятся на плоские и ступенчатые.



Привалковая (валковая) арматура делится на задающую и выдающую.

Рис.10 Пояснения к выбору промежуточных буртов.

Нейтральная линия калибра (НЛК) (Рис.11).

- воображаемая горизонтальная линия, относительно которой воздействие верхнего и нижнего валков на полосу одинаково, что обеспечивает прямолинейный выход полосы.

В симметричных калибрах, имеющих 2 оси симметрии, она совпадает с горизонтальной линией симметрии.

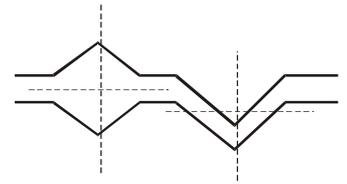


Рис.11 Положение НЛК для симметричных и несимметричных калибров.

Разъём калибра.

- то место в калибре, в котором очертание профиля переходит с одного валка на другой. Для симметричных или простых профилей это место, где линия контура пересекает зазор. Разъём совпадает с зазором для симметричных калибров, а для несимметричных и закрытых-нет.

2.4. Основные размеры и элементы валков

Диаметры (Рис.12):

До - номинальный диаметр (расстояние между валками шестерённой клетки).

Дб - диаметр по бочке.

Дн - начальный диаметр (такой условный диаметр, при котором валки в рабочем положении как бы соприкасаются).

Дв - диаметр по вершине калибра.

Дк - катающий диаметр (воображаемый условный диаметр, при котором скорость валков равна скорости полосы на выходе из очага деформации).

Дс - средний диаметр (расстояние между осями валков).

Минимальный и максимальный диаметр определяется углом перекоса шпинделей и коэффициентом переточки.

$$D_0 = (D_{\max} + D_{\min}) / 2;$$

$$K = (D_{\max} - D_{\min}) / D_0, \quad K - \text{коэффициент переточки.}$$

$$D_{\max} = D_0(1 + K/2)$$

$$D_{\min} = D_0(1 - K/2)$$

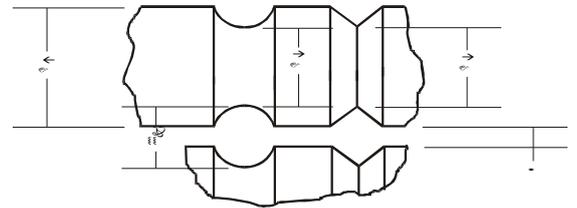


Рис.12 Основные размеры круглого и квадратного калибров.

Для заготовочных, сортовых станов $K=0,08...0,15$

Для обжимных, заготовочных, сортовых $K=0,1...0,3$

Для проволочных $K=0,07...0,2$

Для листовых станов горячей прокатки $K=0,04...0,07$

Для листовых станов холодной прокатки $K=0,03...0,05$

$$D_n = D_b + S;$$

$$D_v = D_n - H_k = D_b - H_k + S.$$

$$V_0 < V_b < V_1 \text{ (Рис.13);}$$

$$V_1 = V_b(1+i); \quad V_b = V_1 / (1+i); \quad i = (V_1 - V_b) / V_b, \text{ где}$$

i-опережение.

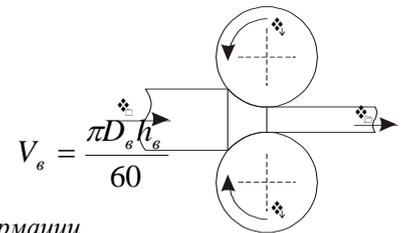


Рис.13 Связь скоростей валков и полосы до и после деформации.

Дк можно определить по формуле (1), но это сложно. Поэтому приняты упрощённые формулы для определения катающего диаметра.

$$D_k = D_v(1+i), \quad (1)$$

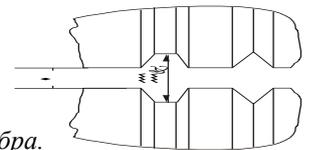
Для калибров, у которых высота постоянна по ширине калибра (Рис.14).

$$D_k = D_n - h_k = D_b - h_k + s, \quad (2)$$

Если h_k не постоянна по его ширине, то

$$D_k = D_n - F/b = D_b - F/b + s, \quad (3)$$

Рис.14 Нахождение D_k при постоянной и непостоянной высоте по ширине калибра.



В ящичном калибре D_k надо считать по формуле (3), но точнее определять площадь.

Для гладкой бочки

$$D_k = D_b(1+i); \quad i = (0.5...2) \%$$

Линия прокатки (Рис.15) – это линия, по которой валки как бы соприкасаются своими начальными диаметрами.

Средняя линия валков – это воображаемая горизонтальная линия, которая делит расстояние между осями валков пополам.

Если валки равного диаметра и калибры нарезаны симметрично, то все они (ЛП и СЛВ) выражаются в одну горизонтальную линию.

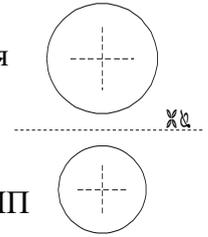


Рис.15 Положение линии прокатки при разных диаметрах валков.

Разница в диаметрах валков называется давлением валков, оно измеряется в мм.

$$|D_H^B - D_H^H| = \Delta D$$

Если диаметр верхнего валка больше, то верхнее давление (Рис.16).

Если диаметр нижнего валка больше, то нижнее давление.

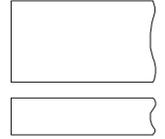
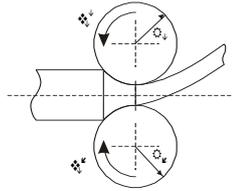


Рис.16 Пример верхнего давления валков.

$$V_B = WR$$

$$R_H > R_B; \quad V_B^H > V_B^B$$

Рис.17 Пример нижнего



давления валков.

Специально на блюмингах делали нижнее давление (Рис.17), чтобы не разбивать ролики рольгангов.

На сортовых станах, особенно в черновых группах клетей, делали небольшое верхнее давление (Рис.18).

Давление используют при проектировании закрытых калибров.

$$R_H^B - R_H^H = \Delta D/2$$

$$\left. \begin{aligned} R_H^B &= R_C + x \\ R_H^H &= R_C - x \end{aligned} \right\}$$

$$R_H^B - R_H^H = 2x$$

$$x = \Delta D/4$$

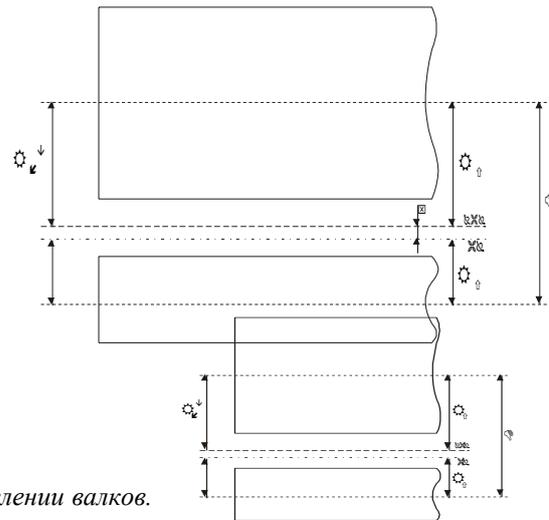
Рис.18 Основные размеры валков при верхнем давлении.

Средняя линия валков отстоит от линии прокатки на величину $\Delta D/4$ в сторону большего валка или наоборот (Рис.19).

$$\Delta D = |D_H^H - D_H^B|$$

$$D_H = D_C \pm \Delta D/2$$

Рис.19 Положение СЛВ и ЛП при верхнем давлении валков.



2.5. Расположение симметричных калибров на

валках

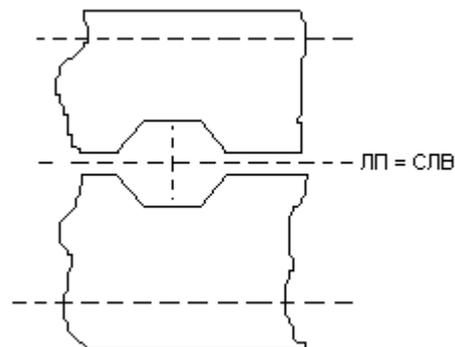


Рис.20 Положение НЛК (ГОС), ЛП и СЛВ на примере ящичного калибра.

При нарезании на валках равного диаметра нейтральная линия калибра (горизонтальная ось симметрии) совмещается с линией прокатки, в обе стороны от этой линии откладываются и

строятся все элементы калибров. Но ещё раз: калибры симметричны и диаметры валков равны. \Rightarrow НЛК \equiv ГОС \equiv СЛВ \equiv ЛП (Рис.20).

При размещении симметричного калибра на валках неравного диаметра (горизонтальную ось симметрии) нейтральную линию калибра можно совместить или с линией прокатки (реже), или со средней линией валков (чаще).

Если требуется обеспечить прямолинейный выход полосы без изгиба, то нужно нейтральную линию калибра совмещать со средней линией валков, но при этом сам калибр и полоса будут не симметричными.

Если нейтральную линию калибра совместить с линией прокатки, то калибр и профиль будут симметричны, но полосу будет гнуть (т. к. диаметры валков разные).

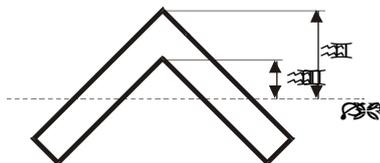


Рис.21 Нахождение НЛК для несимметричных калибров на примере уголка

2.6. Расположение несимметричных калибров на валках

Расположение несимметричных калибров в большей степени связано с валками неравного диаметра. Чаще всего действуют следующим образом, находят нейтральную линию калибра (Рис.21), совмещают со средней линией валков, и также строят калибр.

Правильно расположенные калибры должны: обеспечить прямолинейный выход полосы из валков (отсутствие изгиба, скручивания, поворота заднего конца полосы, свёртывания); уменьшить неравномерность износа валков, неравномерность распределения моментов на валках; улучшить условия работы вводных и выводных проводок.

Изгиб переднего и заднего концов полосы может происходить в вертикальной и горизонтальной плоскостях. Изгиб заднего конца полосы сопровождается его поворотом. Изгиб переднего конца полосы в горизонтальной плоскости называется серплением.

Скручивание характеризуется постепенным плавным поворотом выходящего из валков поперечного сечения вокруг продольной оси.

Поворот полосы - плавный поворот заднего конца полосы вокруг оси прокатки.

Сваливание - постепенное искажение поперечного сечения полосы в очаге деформации.

Свёртывание – внезапная потеря устойчивости полосы в калибре.

Оптимальное положение калибра относительно валков определяется:

1. Соответствием формы и размеров калибра и задаваемой в него полосы.
2. Расположением калибра на валках.
3. Расположением заготовки относительно калибра – то есть ориентирование НЛК относительно СЛВ.
4. Различными техническими и конструктивными факторами.

В общем случае калибр должен быть ориентирован в плоскости осей валков относительно средней линии валков расстоянием и углом поворота.

Нейтральным называется такое положение калибра, когда полоса на выходе из него не скручивается, не свёртывается и т.д.

В простых калибрах, имеющих две оси симметрии, горизонтальная ось симметрии совмещается со средней линией валков.

В других случаях научно - обоснованное расположение калибра представляет собой достаточно сложную задачу.

Задача размещения несколько упрощается для калибров, имеющих одну ось симметрии. В этом случае калибр должен так располагаться на валках, чтобы достигалась, прежде всего, симметричность относительно вертикальной оси (Рис.22).

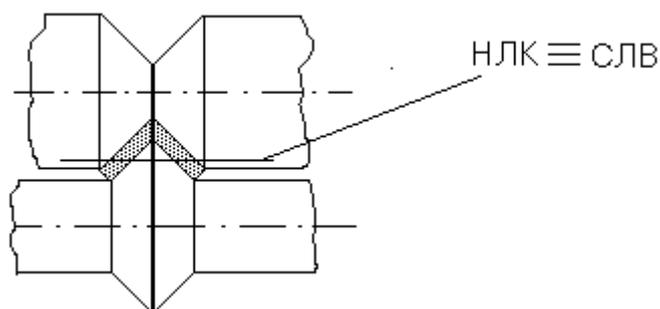


Рис.22 Обеспечение симметричности относительно вертикальной оси на примере равноположного уголка.

Затем находится так называемая нейтральная линия калибра, которая совмещается со средней линией валков. Во всех задачах очень важно найти нейтральную линию калибра. Существует несколько методов для определения нейтральной линии калибра.

Все эти методы можно объединить в три группы:

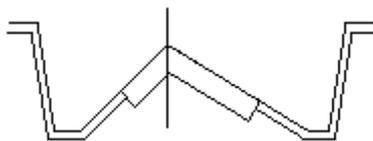
Положение нейтральной линии калибров определяется центром тяжести сечения калибра или прямоугольника, описанного относительно калибра.

Нейтральную линию калибров находят из условия равенства средних окружных скоростей по ручьям верхнего и нижнего валков.

Положение нейтральной линии калибров находится из условия равенства моментов прокатки верхнего и нижнего валков.

Профили, в которых отсутствует симметричность, располагаются относительно вертикальной оси, чтобы при прокатке не было осевых усилий (Рис.23). Осевые усилия нарушают настройку стана, искажают профиль и ведут к быстрому износу подшипников. Для предохранения подшипников от чрезмерного износа и уменьшения осевого смещения обычно применяют на валках специальные замки, которые воспринимают осевые усилия.

Рис.23 Расположение неравноположного уголка относительно вертикальной оси.



Практические признаки неправильного расположения калибра на валках.

1. Изгиб полосы, поворот полосы, скручивание, свёртывание.
2. Неравномерный износ поверхности валков. При изгибе вниз рабочая поверхность верхнего валка изнашивается больше, чем нижнего, и наоборот.
3. Неравномерные нагрузки на валки, приводящие к поломкам валков, ударам в соединительных деталях при выходе полосы из валков.
4. Ухудшаются условия работы выводной валковой арматуры. Неравномерная нагрузка на арматуру приводит к её неодинаковому износу. Динамические воздействия переднего конца полосы на арматуру могут привести к выбиванию проволочек и оковыванию валков полосой.
5. Искажение профиля.

2.7. Нейтральная линия калибра и методы ее определения

Определение центра тяжести (НЛК) для различных геометрических фигур.

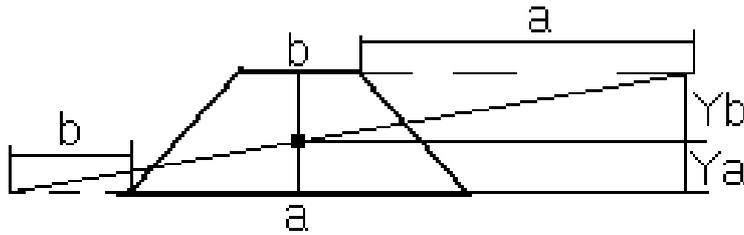
1. Фигуры с двумя осями симметрии. Центр тяжести находится в точке пересечения этих осей.
2. Для треугольника центр тяжести находится на пересечении медиан (Рис.24).



Рис.24 Нахождение центра тяжести в треугольнике.

3. Трапеция (Рис.25).

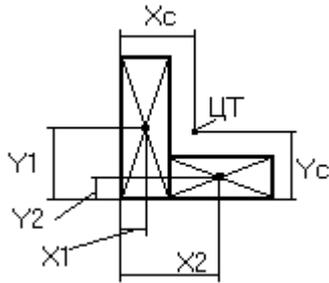
Рис.25 Нахождение центра тяжести для трапеции.



$$Y_b = \frac{h}{3} \cdot \frac{b+2a}{a+b}$$

$$Y_a = \frac{h}{3} \cdot \frac{a+2b}{a+b}$$

4. Общий случай. Любые сложные фигуры разбиваются на более простые.



$$X_c = \frac{\sum_{i=1}^n F_i \cdot x_i}{\sum_{i=1}^n F_i}$$

$$Y_c = \frac{\sum_{i=1}^n F_i \cdot y_i}{\sum_{i=1}^n F_i};$$

Рис.26 Нахождение центра тяжести в сложных фигурах (уголке).

2.8. Коэффициенты деформации.

Различают абсолютные и относительные коэффициенты деформации.

$\Delta h = h_0 - h_1$; — обжатие (Рис.27)

$\Delta b = b_1 - b_0$; — уширение

$\Delta l = l_1 - l_0$; — удлинение

абсолютные коэффициенты деформации.

$$\varepsilon = \frac{\Delta h}{h_0}; \quad \varepsilon' = \frac{\Delta h}{h_1}; \quad \beta = \frac{b_1}{b_0}; \quad \lambda = \frac{l_1}{l_0};$$

$$\frac{1}{\eta} = \frac{h_0}{h_1}; \quad \eta \cdot \beta \cdot \lambda = 1.$$

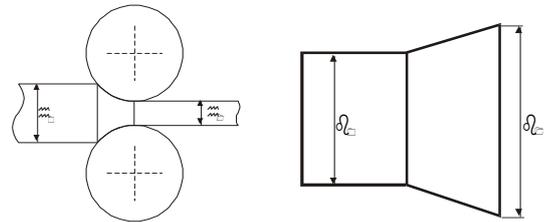


Рис.27 Параметры при обжатии и уширении до и после деформации.

При прокатке профилей в калибрах более объективную информацию даёт вытяжка, а при прокатке листов - высотная деформация.

Различают суммарные, частные и средние коэффициенты деформации.

Суммарной вытяжкой называют отношение площади заготовки в первом проходе к площади полосы в последнем проходе.

Частной вытяжкой называют отношение площадей заготовок в данном и последующем проходах.

Средняя вытяжка - характерный уровень загрузки всего стана или группы клетей.

Рекомендации по средней вытяжке для разных типов станов.

-непрерывные проволочные станы - 1.30...1.385 (1.27...1.385)

-непрерывные мелкосортные станы - 1.25...1.350 (от 1.2 и меньше)

-среднесортные станы - 1.23...1.34

-крупносортные станы - 1.18...1.30

рекомендуемое распределение средних вытяжек по проходам (Рис.28)

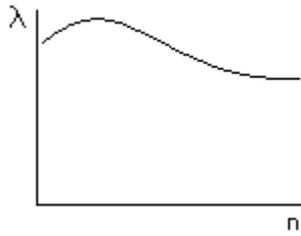


Рис.28 Зависимость средних вытяжек от числа проходов при прокатке.

Величинами средних вытяжек пользуются для определения числа проходов при калибровке.

$$\lambda_{\Sigma} = \prod \lambda_i; \lambda_c = \sqrt[n]{\lambda_{\Sigma}}; \lambda_{\Sigma} = \lambda_c^n; n = \frac{\ln \lambda_{\Sigma}}{\ln \lambda_c}.$$

Пример:

1) При заданном стане с числом проходов n можно определять размер заготовки в каждом проходе.

$$\lambda_c^n = \lambda_{\Sigma}; S_n = \frac{S_0}{\lambda_{\Sigma}}; S_i = \frac{S_{i-1}}{\lambda_i}; S_{i-1} = S_i \cdot \lambda_i.$$

2) При заданном контрольном стане с определённым числом проходов и заданной заготовкой находится профиль, который можно прокатать на данном стане.

Подобные операции можно выполнять и с коэффициентом высотной деформации.

При расчете режимов деформации для листовой стали пользуются коэффициентами высотной деформации,

$$\left(\frac{1}{\eta}\right)_i; \left(\frac{1}{\eta}\right)_c; \left(\frac{1}{\eta}\right)_{\Sigma}.$$

Соотношения между этими тремя величинами такие же, как и между соответствующими вытяжками.

$$\left(\frac{1}{\eta}\right)_i \approx \left(\frac{1}{\eta}\right)_c \Rightarrow \left(\frac{1}{\eta}\right)_{\Sigma} = \left(\frac{1}{\eta}\right)_c^n; n = \frac{\ln \left(\frac{1}{\eta}\right)_{\Sigma}}{\ln \left(\frac{1}{\eta}\right)_c}.$$

С помощью этих формул можно определять не только число проходов, но и решать другие технологические задачи.

Частные, средние и общие (суммарные) коэффициенты деформации.

В процессе прокатки происходит уменьшение площади поперечного сечения полосы. Уменьшение площади происходит за несколько проходов.

Из условия постоянства объёма:

$$h_0 b_0 l_0 = h_1 b_1 l_1 = h_2 b_2 l_2 = h_3 b_3 l_3 = \dots = h_i b_i l_i = \text{const} \text{ или } \frac{h_0}{h_1} = \frac{b_1 l_1}{b_0 l_0}; \eta = \frac{1}{\beta} \cdot \frac{1}{\lambda} \text{ или } \frac{1}{\eta} = \beta \cdot \lambda,$$

где

$$\lambda - \text{коэффициент вытяжки} = \frac{l_1}{l_0};$$

$$\beta - \text{коэффициент уширения} = \frac{b_1}{b_0};$$

$$\eta - \text{коэффициент обжатия (высотной деформации)} = \frac{h_0}{h_1}.$$

$$\eta \beta \lambda = 1; \eta = \frac{h_1}{h_0}.$$

$$\lambda = \frac{S_0}{S_1} = \frac{h_0 b_0}{h_1 b_1}$$

Вытяжкой называют отношение площади поперечного сечения исходной (задаваемой) заготовки к площади поперечного сечения выходящего из валков раската или конечного профиля.

Если рассматривать уменьшение площади поперечного сечения за полное число проходов от исходной заготовки до конечного профиля, то вытяжка называется *общей* или *суммарной*.

Вытяжка же полосы за один проход называется *частной вытяжкой*. Величина частной вытяжки позволяет судить о степени загруженности клетки и привода клетки. Частные вытяжки принимают различными в зависимости от прокатываемого профиля и типа стана, формы, пластичности и расположения калибра. Частные вытяжки могут колебаться от 1.15 до 1.5 (иногда до 2).

Коэффициент общей вытяжки может быть найден по коэффициентам частных вытяжек.

$$\lambda_1 = \frac{S_0}{S_1}; \lambda_2 = \frac{S_1}{S_2}; \lambda_3 = \frac{S_2}{S_3}; \dots; \lambda_i = \frac{S_{i-1}}{S_i}; \lambda_\Sigma = \frac{S_0}{S_n}, \text{ где } n - \text{ количество проходов.}$$

$$\lambda_\Sigma = \lambda_1 \lambda_2 \lambda_3 \dots \lambda_n; \quad \lambda_\Sigma = \prod_{i=1}^n \lambda_i.$$

$$\lambda_1 = \frac{S_0}{S_1} \quad (1); \quad \lambda_2 = \frac{S_1}{S_2} \quad (2); \quad \text{из (1) и (2) } S_0 = \lambda_1 \lambda_2 S_2 \text{ или } \frac{S_0}{S_2} = \lambda_1 \lambda_2; \quad \lambda_3 = \frac{S_2}{S_3} \rightarrow S_0 = \lambda_1 \lambda_2 \lambda_3 S_3 \rightarrow$$

$$S_0 = \lambda_1 \lambda_2 \lambda_3 \dots \lambda_n \rightarrow \frac{S_0}{S_n} = \lambda_1 \lambda_2 \lambda_3 \dots \lambda_n = \lambda_\Sigma;$$

Если частные вытяжки равны между собой и равны средней по величине вытяжке, т.е.

$$\lambda_1 = \lambda_2 = \dots = \lambda_n = \lambda_{cp}, \text{ то } \lambda_\Sigma = \lambda_{cp}^n \text{ откуда } \lambda_{cp} = \sqrt[n]{\lambda_\Sigma} \text{ и } n = \frac{\lg \lambda_\Sigma}{\lg \lambda_{cp}} = \frac{\lg S_0 - \lg S_n}{\lg \lambda_{cp}}.$$

Средняя вытяжка характеризует степень загруженности основного оборудования прокатного стана. По λ_{cp} судят, насколько интенсивно ведётся технологический процесс прокатки, правильно ли определён режим обжатий, и имеются ли резервы на прокатном стане. Средние вытяжки для каждого стана определяют из условий деформаций металла по проходам. Для различных сортовых станов рекомендуются следующие средние вытяжки.

Станы:	λ_{cp}
непрерывные проволочные –	1.25...1.385
непрерывные мелкосортные –	1.20...1.35
среднесортные –	1.23...1.33
крупносортные –	1.18...1.3

При проектировании новых прокатных станов по средней вытяжке можно определить количество рабочих клеток (или проходов).

$$\lg \frac{S_0}{S_n} = n \lg \lambda_{cp}; \quad n = \frac{\lg S_0 - \lg S_n}{\lg \lambda_{cp}};$$

НЗС	λ_Σ	λ_c
900/700/500 - Кривой рог	19.5	1.235
900/700/500 – ЧМЗ	21.4	1.245
850/700/500 – Чер. МЗ	22.7	1.298
850/700/500 – Замсиб	18.3	1.275

При прокатке листов или полос пользуются коэффициентом высотной деформации

$$\left(\frac{1}{\eta} i; \frac{1}{\eta} \Sigma; \frac{1}{\eta} cp \right).$$

$$\left(\frac{1}{\eta}\right)_1 = \frac{h_0}{h_1} \rightarrow h_0 = \left(\frac{1}{\eta}\right)_1 \cdot h_1;$$

$$\left(\frac{1}{\eta}\right)_2 = \frac{h_1}{h_2} \rightarrow h_1 = \left(\frac{1}{\eta}\right)_2 \cdot h_2 \rightarrow h_0 = \left(\frac{1}{\eta}\right)_1 \cdot \left(\frac{1}{\eta}\right)_2 \cdot h_2;$$

$$\left(\frac{1}{\eta}\right)_3 = \frac{h_2}{h_3} \rightarrow h_2 = \left(\frac{1}{\eta}\right)_3 \cdot h_3 \rightarrow h_0 = \left(\frac{1}{\eta}\right)_1 \cdot \left(\frac{1}{\eta}\right)_2 \cdot \left(\frac{1}{\eta}\right)_3 \cdot h_3;$$

$$\boxed{\left(\frac{1}{\eta}\right)_\Sigma = \frac{h_0}{h_n} = \prod_{i=1}^n \left(\frac{1}{\eta}\right)_i} \quad (1)$$

$$E_1 = \frac{h_0 - h_1}{h_0} \rightarrow h_1 = h_0 \cdot (1 - E_1);$$

$$E_2 = \frac{h_1 - h_2}{h_1} \rightarrow h_2 = h_1 \cdot (1 - E_2) \rightarrow h_2 = h_0 \cdot (1 - E_1) \cdot (1 - E_2);$$

$$E_3 = \frac{h_2 - h_3}{h_2} \rightarrow h_3 = h_2 \cdot (1 - E_3) \rightarrow h_3 = h_0 \cdot (1 - E_1) \cdot (1 - E_2) \cdot (1 - E_3);$$

$$\boxed{\frac{h_0}{h_n} = \frac{1}{\prod_{i=1}^n (1 - E_i)}} \quad (2)$$

Решая совместно (1) и (2)

$$\boxed{\left(\frac{1}{\eta}\right)_\Sigma = \frac{1}{\prod_{i=1}^n (1 - E_i)}}$$

Если на входе и выходе стоят одностипные калибры, то $\lambda_c = \sqrt[n]{\frac{C_0}{C_n}}$ для квадратных (Рис.29)

и $\lambda_c = \sqrt[n]{\frac{d_0}{d_n}}$ для круглых (Рис.30) калибров.

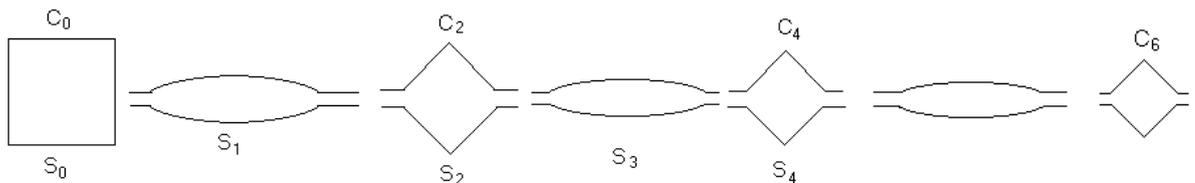


Рис.29 Изменения сечений квадратных калибров в зависимости от числа проходов.

$$\lambda_\Sigma = \frac{S_0}{S_n} = \frac{C_0^2}{C_n^2};$$

при

$$n = 2, \lambda_{\Sigma} = \prod \lambda_i = \frac{C_0^2}{C_2^2}; \lambda_c = \sqrt{\frac{C_0^2}{C_2^2}} = \frac{C_0}{C_2};$$

$$n = 4, \lambda_{\Sigma} = \prod \lambda_i = \frac{S_0}{S_1} \cdot \frac{S_1}{S_2} \cdot \frac{S_2}{S_3} \cdot \frac{S_3}{S_4} = \frac{S_0}{S_4} = \frac{C_0^2}{C_4^2}; \lambda_c = \sqrt[4]{\lambda_{\Sigma}} \rightarrow \lambda_c = \sqrt[4]{\frac{C_0^2}{C_4^2}} = \sqrt{\frac{C_0}{C_4}};$$

$$n = 6, \lambda_{\Sigma} = \frac{C_0^2}{C_6^2}; \lambda_c = \sqrt[6]{\frac{C_0^2}{C_6^2}} = \sqrt[3]{\frac{C_0}{C_6}};$$

$$n = n, \lambda_{\Sigma} = \frac{C_0^2}{C_n^2}; \lambda_c = \sqrt[n]{\frac{C_0^2}{C_n^2}} = \sqrt{\frac{n}{2}} \frac{C_0}{C_n}.$$

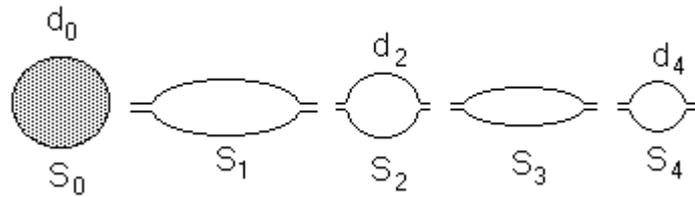


Рис.30 Изменения сечений круглых калибров в зависимости от числа проходов.

при

$$n = 2, \lambda_{\Sigma} = \frac{\pi \cdot d_0^2}{4} / \frac{\pi \cdot d_2^2}{4} = \frac{d_0^2}{d_2^2}; \lambda_c = \sqrt{\lambda_{\Sigma}} = \frac{d_0}{d_2};$$

$$n = n, \lambda_{\Sigma} = \frac{d_0^2}{d_n^2}; \lambda_c = \sqrt[n]{\frac{d_0^2}{d_n^2}}.$$

Когда на входе и выходе стоят разные калибры, то формулы выглядят несколько иначе.

Если на входе круг, а на выходе квадрат, то $\lambda_c = \sqrt[n]{\frac{0.886 \cdot d_0}{C_n}}$; в случае, когда на входе

квадрат, а на выходе круг $\lambda_c = \sqrt[n]{\frac{C_0}{0.886 \cdot d_n}}$ (Рис.31).

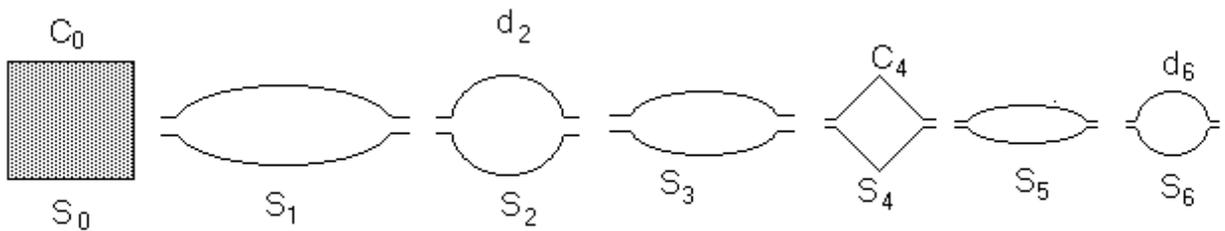


Рис.31 Последовательность формоизменения по сечению – квадрат в круг.

при

$$n = 2, \lambda_{\Sigma} = \frac{C_0^2}{(\pi \cdot d_2^2)/4} = \frac{C_0^2}{0.785 \cdot d_2^2}; \lambda_c = \sqrt{\lambda_{\Sigma}} = \frac{C_0}{0.886 \cdot d_1};$$

$$\pi/4 = 0.785;$$

$$n = n, \lambda_{\Sigma} = \frac{C_0^2}{0.785 \cdot d_n^2}; \lambda_c = \sqrt[n]{\frac{C_0}{0.886 \cdot d_n}}.$$

Пример (Рис.32):

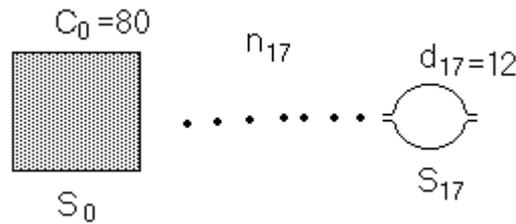


Рис.32 Определение средней вытяжки при получении из квадрата со стороной 80 мм круга диаметром 12 мм за 17 проходов.

$$\lambda_c = 8,5 \sqrt{\frac{80}{0,886 \cdot 12}}$$

2.10. Уширение металла при прокатке

При прокатке высота и форма полосы на контакте диктуется расчётом калибровки и настройкой валков.

Ширина полосы и форма полосы в разъёме зависит от многих технологических факторов. Очень важно грамотно определять уширение, а, следовательно, ширину полосы в каждом проходе.

Различают три вида уширения:

- 1) Свободное.
- 2) Стеснённое.
- 3) Вынужденное.

Свободным (Рис.33) считается такое уширение, когда течению полосы в поперечном направлении препятствуют только контактные силы трения.

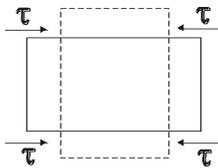


Рис.33 Действие сил при свободном уширении.

Стеснённое уширение (Рис.34). Этот вид уширения имеет место при прокатке в калибрах, в этом случае течению металла в поперечном направлении препятствуют силы контактного напряжения и подпирающее действие боковых стенок калибра.

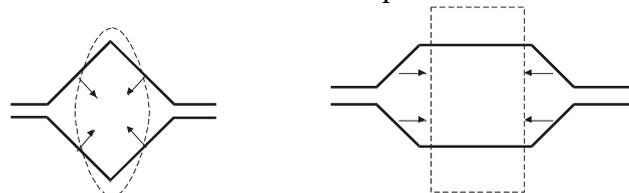


Рис.34 Схемы стеснённого и вынужденного уширения.

Вынужденное уширение (Рис.34) применяется тогда, когда нужно больше дать металла на уширение.

При сортовой прокатке уширение вызывает необходимость лишних проходов, затраты энергии, но его не избежать.

В общем случае, $\Delta b = k \Delta b_{св}$; $K > 1$ – вынужденное уширение ($K_{в.} = 1 \dots 1.25$); $K < 1$ – стеснённое уширение ($K_{с.} = 0.5 \dots 1$).

Влияние ряда технологических факторов можно оценивать через коэффициент трения. Рассмотрим две разновидности процесса прокатки: на станах сортового передела и на станах листового передела. В очаге деформации действует закон наименьшего сопротивления.

Два вида очага деформации:

1) Длинный и узкий (на станах сортового передела) (Рис.35),

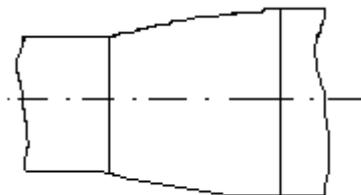


Рис.35 Вид очага деформации на станах сортового передела.

2) Короткий, но широкий (на станах листового передела) (Рис.36).

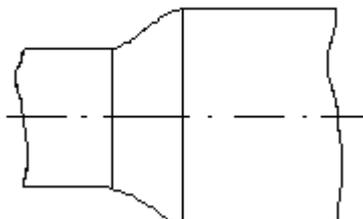


Рис.36 Вид очага деформации на станах листового передела.

При горячей прокатке стали коэффициент трения имеет такую зависимость от температуры (Рис.37).



Т. к. есть закон наименьшего сопротивления, то для стали

$T \downarrow \Rightarrow f \uparrow \Rightarrow \Delta b \uparrow$; $V \downarrow \Rightarrow f \uparrow \Rightarrow \Delta b \uparrow$;

$Dв \uparrow \Rightarrow f \uparrow \Rightarrow \Delta b \uparrow$.

Для горячей прокатки ряда сплавов титана все явления с уширением противоположны таковым у стали (Рис.38) $T \downarrow \Rightarrow f \downarrow \Rightarrow \Delta b \downarrow$.

Рис.37 Зависимость коэффициента трения от температуры при горячей прокатке стали.

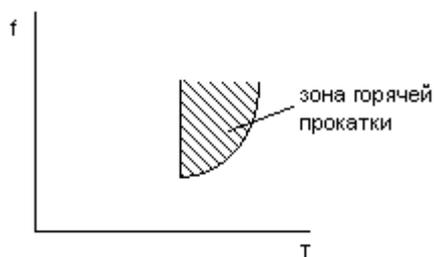


Рис.38 Зависимость коэффициента трения от температуры при горячей прокатке ряда сплавов титана.

2.9. Коэффициент трения при прокатке

$$F = k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_4 \cdot (1.05 - 0.0005 \cdot t),$$

Где k_1 – учитывает состояние поверхности инструмента и его материал. (табл.1);

k_2 – учитывает влияние скорости прокатки (табл.2, рис.1);

k_3 – учитывает химический состав обрабатываемого материала (табл. 3);

k_4 - учитывает влияние формы заготовки и калибра (табл. 4).

Таблица 1.

	Вид обработки валка	Значение k_1	
		стальной	Чугунный
1	Полированный	0,8	-
2	Шлифованный	0,9	0,7
3	Обточенный	1,0	0,8
4	С сеткой разгара	1,2	1,0
5	Насеченный	1,4	-

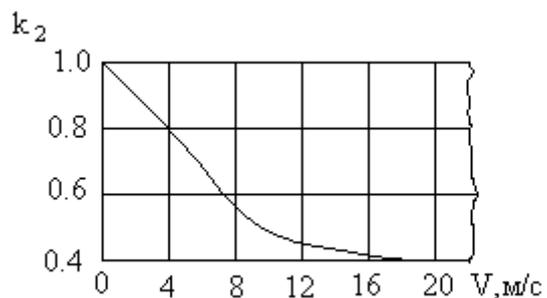


Рис. 1

Таблица 2.

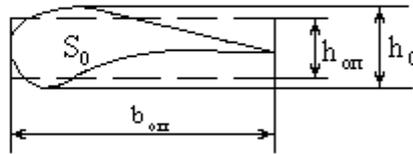
Скорость прокатки	0.2	3	4	5	7	10	20	30
Значение k_2	1	0.93	0.76	0.67	0.57	0.50	0.41	0.39

Таблица 3.

	Химический состав обрабатываемого материала	k ₃
1	Углеродистые (ст. 1)	1,0
2	Ледобуритные (P18)	1,1
3	Перлитно-мартенситные (ШХ15, 4Х13, 38ХМЮА)	1,24-1,3
4	Аустенитные (Х13Н4Г9)	1,4
5	Ферритные (1Х17ЮА)	1,55
6	Аустенитные с включением карбидов	1,60
7	Высокоуглеродистые	0,8-0,9
8	Аустенитные с включениями феррита или ледобурита (1Х18Н9Т)	1,45

Таблица 4.

	Форма заготовки и калибра	k ₄
1	Круг – гладкая бочка	0,95
2	Овал - ребровой овал, ребровой квадрат – ромб, овал – круг	0,975
3	Эллиптический овал – круг, ромб – ромб, круг – эллиптический овал, прокатка прямоугольных полос на гладкой бочке	1,0
4	Ромб – квадрат, шестиугольник – шестиугольник	1,025
5	Круг – овал, эллиптический овал – овал	1,035
6	Система прямоугольных калибров	1,06
7	Овал – квадрат, круг – ромб	1,12
8	Квадрат – овал	1,15
9	Шестиугольник – квадрат	1,22
10	Калибры сложной формы	$\sqrt{\frac{Cf_0}{Cf_1}}$



$$k_4 = \sqrt{\frac{Cf_0}{Cf_1}}$$

$$Cf_0 = \frac{S_0}{b_{\text{от}} \cdot h_{\text{от}}}$$

$$Cf_1 = \frac{S_1}{b_{\text{ит}} \cdot h_{\text{ит}}}$$

$b_i h_i$ - размеры приведенного прямоугольника

2.10. Уширение металла при прокатке

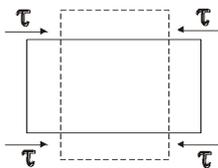
При прокатке высота и форма полосы на контакте диктуется расчетом калибровки и настройки валков.

Ширина полосы и форма полосы в разъеме зависит от многих технологических факторов. Очень важно грамотно предсказывать определить уширение, а следовательно ширину полосы в каждом проходе.

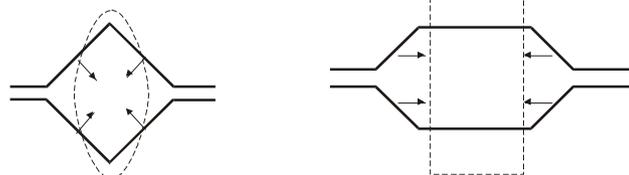
Различают три вида уширения.

- 1) Свободное.
- 2) Стесненное.
- 3) Вынужденное.

Свободным считается такое уширение, когда течению полосы в поперечном направлении препятствуют только контактные силы трения.



Стесненное уширение. Этот вид уширения имеет место при прокатке в калибрах в этом случае течению металла в поперечном направлении препятствуют силы контактного напряжения и подпирающее действие боковых стенок калибра.



Вынужденное уширения применяется тогда, когда нужно больше дать металла на уширение.

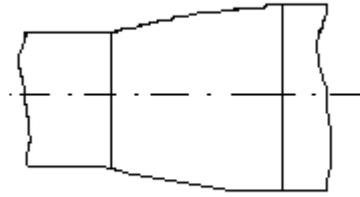
При сортовой прокатки уширение вызывает необходимость лишних проходов затраты энергии, но его не избежать.

$\Delta b = k \Delta b_{\text{св}}$; $K > 1$ – вынужденное уширение; $K < 1$ - стесненное уширение
 $K_b = 1 \dots 1.25$; $K_c = 0.5 \dots 1$;

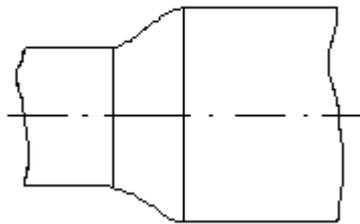
Влияние ряда технологических факторов можно оценивать через коэффициент трения.

Два вида очага деформации .

1) Длинный и узкий.



2) Короткий, но широкий



При горячей прокатке стали, коэффициент трения имеет такую зависимость от температуры.

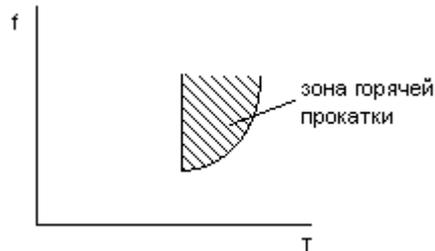


т. к. есть закон наименьшего сопротивления, то для стали

$T \downarrow \Rightarrow f \uparrow \Rightarrow \Delta b \uparrow$; $V \downarrow \Rightarrow f \uparrow \Rightarrow \Delta b \uparrow$;

$D_B \uparrow \Rightarrow l \uparrow \Rightarrow \Delta b \uparrow$.

Для горячей прокатки ряда сплавов титана все явления с уширением противоположны чем у стали $T \downarrow \Rightarrow f \downarrow \Rightarrow \Delta b \downarrow$.



2.11. Температурные режимы прокатки

Существует программа для расчета температурного режима - **TEMP**

В которой изложены три варианта методик:

- методика ЧГТУ
- методика ДПИ
- методика УПИ

При прокатке на блюминге принимается линейная зависимость температуры от номера прохода:

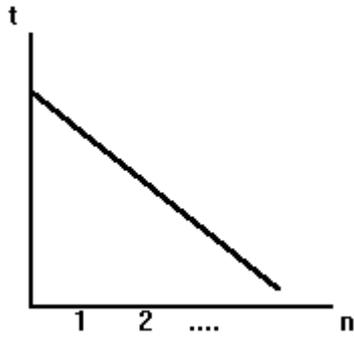


Рис.1 Зависимость температуры от номера прохода

$$t_i = t_0 - (t_0 - t_n) \cdot (l_i - l_0) / (l_n - l_0)$$

Общий подход при расчете температуры:

$$t_i = t_{i-1} - \Delta t_{и} - \Delta t_{к} - \Delta t_{в} + \Delta t_{д}$$

где $\Delta t_{и}$ – потери на излучение;

$\Delta t_{к}$ – потери на конвективный обмен с воздухом;

$\Delta t_{в}$ – потери на охлаждение металла от валков;

$\Delta t_{д}$ – нагрев за счет пластической деформации.

Как правило достаточно трудно сосчитать не которые потери поэтому для их расчета применяют ряд методик.

Например методика УПИ:

Суммарную потерю тепла можно найти по формуле:

$$\Delta t = t_0 - 1000 / \sqrt[3]{(0,0255 \cdot \Pi \cdot \tau / S + (1000/t_0 + \Delta t_{д} + 273)^3)} + 273$$

где t_0 – температура раската перед входом в рассматриваемый калибр;

Π – периметр поперечного сечения перед входом в калибр;

τ – время охлаждения раската;

S – площадь поперечного сечения перед входом в калибр;

$\Delta t_{д}$ - нагрев за счет пластической деформации.

Величину $\Delta t_{д}$ можно найти по формуле:

$$\Delta t_{д} = 0,183 \cdot \sigma \cdot \ln \lambda$$

где σ – сопротивление металла пластической деформации;

λ – коэффициент вытяжки.

2.12. Скоростные режимы прокатки

1). Линейный стан.

Частота вращения валков постоянна.

$$N_{в} = N_{дв} / i_{р} \quad V_{в} = 3,14 D_{в} N_{в} / 60 \quad V_1 = V_{в} (1 + i) \quad V_1 = 3,14 D_{к} N_{в} / 60$$

2). Стан с последовательным расположением клетей.

$$N_{дв} = N_{в i_{р}} \quad V_1 = 3,14 D_{к} N_{в} / 60$$

Каждую клеть считаем отдельно.

3). Непрерывный стан.

Рассмотрим с индивидуальным приводом валков.

Закон постоянства секундных объёмов: - за единицу времени через каждую клеть прокатного стана проходит одинаковый объём металла.

$$V_i S_i = c$$

Дано: V_0 или V_1 $V_{11} S_{11} = V_{12} S_{12} = \dots = V_{1n} S_{1n}$

Расчёт скоростных режимов идёт после расчёта формаизменения.

$$V_0 S_0 = V_{11} S_{11}$$

$$(S_0/S_{11}) V_0 = V_{11} \quad Y_1 V_0 = 11 \quad Y - \text{вытяжка}$$

из закона постоянства секундных объёмов:

$$V_{11} S_{11} = V_{12} S_{12}$$

$$V_{12} = V_{11} (S_{11}/S_{12}) = V_{11} Y_2$$

$$V_{11} = 3,14 D_k N_{в}/60$$

$$N_{в1} = 60 V_{11} / 3,14 D_k 1$$

$$N_{дв} = N_{в1} i_p$$

Аналогично все последующие клетки. Если задана V_{1n} , то расчёт ведём против хода прокатки, но аналогично.

3.2). Непрерывный стан с групповым приводом валков.

Групповой привод может быть у двух, трёх клетей, а может чередоваться групповой-индивидуальный.

Из условия постоянства секундных объёмов:

$$V_{13} S_{13} = V_{14} S_{14} \quad V_{14} - \text{дано}$$

$$V_{13} = (S_{14}/S_{13}) V_{14} = V_{14} Y_4$$

$$V_{13} = 3,14 D_k N_{в3}/60 = 3,14 D_k 4 N_{в4}/60 Y_4$$

$$D_k 3 N_{дв}/i_p 3 = D_k 4 N_{дв4}/i_p 4 Y_4$$

$D_k 3/D_k 4 = i_p 3/i_p 4 Y_4$ Эта формула должна быть верна при расчёте формоизменения и при подборе диаметра валков.

$$N_{д3в} = N_{в3} i_p 3 = N_{в4} i_p 4$$

Согласно УПСО время прокатки полосы в каждой клетке в НС одинаково.

При замене одной или нескольких клетей в настроечном стане $N_{в}$ или $N_{дв}$ определяют следующим образом:

Из УПСО:

$$V_i S_i = c$$

$$V_1 = 3,14 D_k(0) * N_{в(0)}/60 = 3,14 * D_k(n) * N_{в(n)}/60$$

Дано: $D_k 0$, $N_{в0}$, $D_k n$, $N_{вn}$

$$N_{в(n)} = D_k(0)/D_k(n) * N_{в(0)}$$

$$N_{дв(n)} = N_{в(n)} i_p$$

Проктически на стане берут приближённо:

$$N_{в(n)} = (D_{б0}/D_{б(n)}) N_{в(0)}, \text{ потом подстраивают.}$$

3,3). Непрерывный стан типа НЗС.8

$$\text{Дают небольшую растяжку } i(n) * (1,005 \dots 1,02) = i(n+1)$$

4). Станы с последовательным расположением клетей.

Скоростной режим этих станов можно определить из УПСО, тогда считают также, как и на НС.

$$T(n+1) < T(n) \quad \text{разницу задаём сами.}$$

$$V_1(n+1) > V_1(n)$$

Пример: для НС с индивидуальным приводом:

$$V_1(17) = 20 \text{ м/с, } D_k(17) = 300 \text{ мм, } i_p(17) = 0,6, Y(17) = 1,2, D_k(16) = 300 \text{ мм, } i_p(16) = 0,76.$$

$$N_{в(16)} - ? \quad N_{дв(16)} - ?$$

Из УПСО:

$$V_1(16) * S_1(16) = V_1(17) * S_1(17)$$

$$V_1(16) = [S_1(17)/S_1(16)] * V_1(17) = V_1(17)/Y(17) = 16,67 \text{ м/с}$$

$$V_1(16) = [3,14 * D_k(16) * N_{в(16)}]/60$$

$$N_{в(16)} = 60 * V_1(16) / 3,14 * D_k(16) = 1061 \text{ об/мин.}$$

2.13. Устойчивость полосы в валках

2.14. Ограничения режимов прокатки

Система ограничений режимов деформации при прокатке (в калибрах).

Режим деформации металла при прокатке в калибрах ограничивается рядом факторов, которые необходимо учитывать при расчете калибровок валков. К ним относятся:

- 1) предельные углы захвата металла валками;
- 2) заданные или рекомендуемые вытяжки;
- 3) условия устойчивости полос при прокатке в калибрах;
- 4) прочность валков;
- 5) мощность главных двигателей привода рабочей клетки;
- 6) износ валков и их стойкость;
- 7) пластичность металла;
- 8) система привода валков;
- 9) общий сортамент стана;
- 10) скоростной режим прокатки;
- 11) температурный режим;

Так же применяют ограничения принятые из практических данных и природы разрушения металла или трещинообразования на поверхности.

Эти ограничения могут быть положены в основу расчета коэффициентов деформации. Или же по ним проверяется рассчитанный режим обжатий.

Рассмотрим каждое из этих ограничений в отдельности:

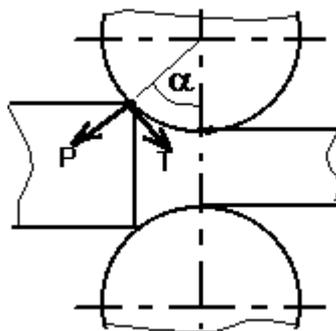
Наиболее распространенными на практике являются ограничения, основанные на предельных углах захвата, на мощности электродвигателя и на прочности прокатных валков.

Ограничение и расчет по предельным условиям захвата

Предельное условие захвата определяется равенством

$$f \geq \operatorname{tg} \alpha_0$$

Рассмотрим равновесие в очаге деформации



$$P \cdot \sin \alpha_0 = T \cdot \cos \alpha_0$$

$$\operatorname{tg} \alpha_0 = T/P$$

$$T = f \cdot P$$

$$\operatorname{tg} \alpha_0 = f$$

$$\operatorname{tg} \alpha_0 \approx \alpha_0$$

$$\alpha_0 = f$$

Таким образом получив максимальный угол захвата мы приходим к условию, что

$$f \geq \alpha_0$$

Существует известная зависимость между обжатием, углом захвата и диаметром валков

$$\Delta h_{\max} = D \cdot (1 - \cos \alpha_0) = D \cdot (1 - 1 / \sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \alpha_0})$$

Если обжатие за проход максимально то, следовательно, и угол захвата в этом случае максимален

$$\Delta h_{\max} = D \cdot (1 - \cos \alpha_0) = D \cdot (1 - 1 / \sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \alpha_0 \max})$$

или

$$\Delta h_{\max} = D \cdot (1 - \cos \alpha_0) = D \cdot (1 - 1 / \sqrt{1 + f^2}) \quad (1)$$

С другой стороны

$$f = \operatorname{tg} \alpha_0 \max = c \cdot \alpha_0 \max = c \cdot \sqrt{(\Delta h_{\max} / R)}$$

Откуда

$$\Delta h_{\max} = R \cdot f^2 / c^2$$

При изменении угла захвата от 0° до 30°

$$1/c^2 = 0,952 = 0,9$$

$$\Delta h_{\max} = 0,9 \cdot f^2 \cdot R \quad (2)$$

В уравнение (2) можнл ввести коррекцию на переточку валков

$$k_1 = 0,9 \dots 0,95$$

При практических расчетах для устойчивого захвата величину Δh_{\max} уменьшаем на 3-5%, т.е.

$$k_2 = 0,95$$

С учетом обоих коэффициентов

$$\Delta h_{\max} = 0,77 \cdot f^2 \cdot R$$

Коэффициент трения чаще всего определяют по формулам ??

$$f = 1,05 - 0,0005t$$

для стальных валков и

$$f = 0,8(1,05 - 0,0005t)$$

для чугунных.

С введением поправочных коэффициентов.

Здесь $t^\circ\text{C}$ - температура прокатываемого металла.

$$\Delta h_i < \Delta h_{\max}$$

Коэффициент трения f и, следовательно, максимальное обжатие зависят от марки стали, температуры, состояния поверхности валков и их материала, окалины, скорости прокатки и т.д. На максимальное обжатие оказывает влияние и форма калибра

Для калибров

$$\Delta h_{\max} = 0,77 \cdot f^2 \cdot (R_6 - h_p)$$

По Литовченко, для ящечного квадрата можно выбрать следующие расчетные высоты:

1) Черновые клетки заготовочных станов

$$h_p = (0,24 \dots 0,26) R_6$$

2) Промежуточные клетки заготовочных станов, черновые клетки крупносортовых и среднесортовых станов

$$h_p = (0,15 \dots 0,16) R_6$$

3) Черновые клетки мелкосортных и проволочных станов

$$h_p = (0,11 \dots 0,13) R_6$$

Для прямоугольного калибра соответственно

$$1) h_p = (0,18 \dots 0,2) R_6$$

$$2) h_p = (0,13 \dots 0,15) R_6$$

$$3) h_p \approx 0,1 R_6$$

По данной методике производится расчет режима обжатий в первых пропусках обжимных станов и черновых групп клеток сортовых станов.

Ограничение и расчет обжатий из прочности прокатных валков

Обычно прочность валков ограничивает величину обжатия при прокатке листов, полос, фасонных профилей, имеющих значительную ширину и создающих высокие удельные давления металла на валки.

Полное давление металла на валки определяется по формуле

$$P = p_{cp} \cdot F_r = p_{cp} \cdot b_{cp} \sqrt{\Delta h R}$$

откуда

$$\Delta h = 1/R (P/p_{cp} \cdot b_{cp})^2$$

Если $P = P_{доп}$, из условия прочности валков, то

$$\Delta h_{max} = 1/R \cdot (P_{доп}/p_{cp} \cdot b_{cp})^2$$

Допустимая сила, возникающая в процессе прокатки, определяется из условия прочности валков, после всех переточек, на изгиб. Следует иметь в виду, что расчет должен быть основан на равнопрочности шейки и бочки валков. Поэтому необходимо правильно соотношения диаметров шейки и бочки валков, радиусы закругления в местах перехода от шеек к бочке. В противном случае расчет усложняется. В некоторых случаях величина обжатий (вытяжка лимитируется прочностью шеек, элементов главной линии стана {шпинделей, муфты и т.д.}).

Максимальная общая вытяжка достигаемая при таком распределении обжатий, когда нагрузки на валки во всех пропусках одинаковы и вызывают в валках максимально допустимые напряжения.

$$P_1 = P_2 = P_3 = \dots = P_n$$

$$p_{cp1} \cdot b_{cp1} \sqrt{(\Delta h_1 \cdot R_1)} = p_{cp2} \cdot b_{cp2} \sqrt{(\Delta h_2 \cdot R_2)} = p_{cp3} \cdot b_{cp3} \sqrt{(\Delta h_3 \cdot R_3)} = \dots = p_{cpn} \cdot b_{cpn} \sqrt{(\Delta h_n \cdot R_n)}$$

Сначала определяется P_1 и Δh_1 в первом проходе из условия прочности валков, затем на основании его определяют обжатия в последующих проходах

$$\Delta h_2 = ((p_{cp1}/p_{cp2}) \cdot (b_{cp1}/b_{cp2}))^2 \cdot R_1/R_2 \cdot \Delta h_1$$

Необходимо учесть, что p_{cp} и b_{cp} первоначально определяют по предварительно принятому обжатию, затем уменьшают при повторном расчете.

Если одновременно с данным проходом, в валках производится прокатка и в других калибрах (трехвалковые обжимные станы, многоленточные станы), то необходимо при проверке обжатий учитывать нагрузку на валок также и в этих калибрах.

Ограничение и расчет обжатий по мощности электродвигателей

В данном случае наиболее рационально распределение обжатий такое, чтобы мощность во всех пропусках была одинаковая и максимально допустимая. Чтобы не было автоматического отключения двигателя и остановки стана с раскатом в валках (более высокое сопротивление деформации) предусматривается некоторый запас по мощности двигателя.

$$N_{дв} = N'_в + N'_{тр} \pm N'_{дин} + N'_{хх}$$

где N'_B - приведенная мощность прокатки;
 $N'_{тр}$ - приведенная мощность трения;
 $N'_{дин}$ - приведенная динамическая мощность;
 $N'_{хх}$ - приведенная мощность холостого хода.

$$N'_i = N_i / \eta$$

Мощность прокатки определяется (приняв $\ln h_0/h_1 = \Delta h/h_1$) из выражения

$$N_B = \rho_{ср} \cdot b_{ср} \cdot V_1 \cdot \Delta h$$

таким образом

$$\Delta h_{max} = (N_{дв} - N'_{тр} \pm N'_{дин} - N'_{хх}) / (\rho_{ср} \cdot b_{ср} \cdot V_1) \cdot \eta$$

если $\eta = 1$, то

$$\Delta h_{max} = (N_{дв} - N'_{тр} \pm N'_{дин} - N'_{хх}) / (\rho_{ср} \cdot b_{ср} \cdot V_1)$$

Здесь как и раньше $\rho_{ср}$, $b_{ср}$, V_1 первоначально определяют по предварительно принятому обжатию, затем уменьшают при повторном расчете.

Такой метод расчета может быть рекомендован для станов всех типов. Чаще всех его применяют для слябинга и листовых станов.

Предварительный расчет часто получается весьма громоздким (в веде трудности предварительного определения t° , удельного давления и т.д.) и малонадежным.

Обычно проверяют рассчитанную калибровку на степень нагрузки главного привода.

Если указано число оборотов двигателя 200...400 об/мин, то 200 - это номинальное число оборотов при которых достигается M_H . Более высокую скорость до 400 об/мин получают ослаблением магнитного потока, при этом развиваемый момент меньше. Для блюмов 0-54-81.

Для непрерывных станов и станов с последовательным расположением клетей, имеющих индивидуальный привод, должны соблюдаться условия

$$M'_{Bj} \leq M_{дв} \quad \text{при} \quad n_{дв} > n_H \quad (1)$$

$$M'_{Bj} \leq M_H \quad \text{при} \quad n_{дв} \leq n_H \quad (2)$$

Момент прокатки приведенный к валу двигателя

$$M'_{Bj} = M_{Bj} / i \cdot \eta$$

где i - передаточное число редуктора;

η - КПД главной линии стана.

$$M_H = 0,975 \cdot N_H / n_H$$

$$M_{дв} = 0,975 \cdot N_H / n_{дв.факт}$$

В случаи группового привода рабочих клетей от одного двигателя постоянного тока (НЗС с жесткой кинематической связью)

$$M_{\Sigma B} = \Sigma M_{Bj}$$

где $j = (1..k)$ - номер клетки.

При прокатки на линейных станах строится диаграмма $M_{Bj} = \varphi$, вычисляется среднеквадратичный момент $M_{кв}$. Во избежании перегрева двигателя должно выполняться условие

$$M'_{кв} \leq M_H \quad (3)$$

кроме того

$$M'_{кв} / M_H \leq k \quad (4)$$

где $k = 2,0 - 2,5$ - допустимый коэффициент кратковременной перегрузки двигателя.

В случае невыполнения условий (1)-(4) необходимо корректировать рассчитанный режим обжатий.

Решение указанной задачи на практике несколько обегчается тем, что привод стана обычно выбирается с таким расчетом, чтобы его мощность была достаточной для осуществления обжатий, допускаемых прочностью валков.

В отдельных случаях режим обжатий минимизируется износом валков, пластичностью металла, сортаментом стана, системой привода, скоростным режимом вращения валков стана, условием устойчивости и т.д.

Износ валков

Этот вопрос имеет особо важное значение при выборе обжатий в предчистовом и чистовом калибрах. Состояние поверхности и размера готового профиля определяются состоянием предчистового и чистового калибров. Помимо этого большая стойкость желательна с точки зрения менее частой смены калибров и перевалок, которая неизбежно увеличивает простои стана и влечет возможность получения вторых сортов (и брака) в период настройки. Стойкость калибров можно увеличить:

- 1) уменьшением коэффициента деформации;
- 2) увеличением износостойкости валков, применением перлитно-цементито-графитовой структуры с закаленными ручьями);
- 3) правильным соглашением формы калибра и формы полосы (устранение местного неравномерного износа).

Износ вытяжных и черновых калибров допустимы в гораздо больших пределах и, как правило, величены обжатия не лимитирует.

Пластичность и качество металла

Пластичность прокатываемого металла главным образом зависит от температуры и химического состава (марки) стали. Как правило с повышением содержания углерода и лигирующих добавок допустимая величина деформации должна уменьшаться, однако это уменьшение не должно быть значительным.

Часто низкая пластичность качественных сталей отдельных марок вызывается чрезмерно низкой температурой конца прокатки, которая вызывается излишне осторожными обжатиями, и следовательно большим числом проходов.

Развитие непрерывной прокатки позволяет сохранить высокую температуру прокатки до самого последнего пропуска, сокращает разность в допустимых обжатиях для обычных и качественных сталей.

Исключение составляют стали, требующие для получения надлежащей структуры низкой температуры конца прокатки

Условие прокатки без разрушения в соответствии с феноменологической теорией В.А.Колмогорова записывается в общем виде следующим образом

$$\Lambda < \Lambda_p \quad \text{или} \quad \Psi_p = \Lambda / \Lambda_p < 1$$

где Λ – степень деформации сдвига;

Λ_p – предельная степень деформации сдвига;

Ψ_p – степень использования запаса пластичности.

Можно также использовать условие Ю.М. Чижикова

$$\Delta h_c / h_{0c} < (\Delta h / h_0)_{кр}$$

где $\Delta h_c / h_{0c}$ - относительное обжатие, вычисленное по размерам соответственной полосы;

$(\Delta h / h_0)_{кр}$ - "предел пластичности", определяется в зависимости от марки стали и температуры прокатки по диаграммам пластичности.

Качество прокатываемого металла в значительной степени зависит от применяемых систем калибров. Так, система овал-квадрат имеет склонность к образованию складок при прокатке в овальных калибрах и образованию зажимов в углах квадратной полосы; в системе ромб-квадрат - образование рванин на кромках полосы и т.д.

Сортамент стана

При выборе обжатий, необходимо учитывать сортамент стана, особенно при универсальной калибровке.

Система привода

Скоростной режим прокатки

На непрерывных и последовательных станах каждая клеть имеет определенный диапазон изменения скорости вращения валков, обусловленной пределами регулирования числа оборотов двигателя (n_{min} , n_{max}) соответственно

$$V_{min i} = \pi \cdot D_{ki} \cdot n_{min i} \cdot (1 + k_{пер}) / 60$$

$$V_{max i} = \pi \cdot D_{ki} \cdot n_{max i} \cdot (1 - k_{пер}) / 60$$

где $k_{пер}$ - коэффициент запаса числа оборотов на регулирование скорости прокатки в связи переточкой валков и настройкой стана.

Ограничения по скоростному режиму прокатки могут быть записаны в виде неравенства

$$V_{min i} < V_i < V_{max i}$$

На непрерывных и последовательных станах с групповым приводом должно соблюдаться условие

$$V_i = V_{i-1} \cdot \lambda_i \quad \text{или} \quad \lambda_i = V_i / V_{i-1}$$

которое вытекает из закона секундных объемов:

$$V_i \cdot S_i = \text{const}$$

Оказывает также влияние улучшение необходимого сортамента профилей, конструкция клетей их расположение и т.д.

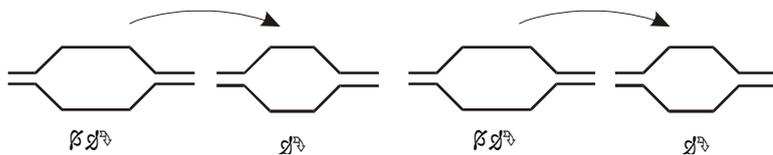
3. Системы вытяжных и черновых калибров

В прокатке есть ряд калибров, которые используются для того, чтобы наиболее эффективно перейти к предчистовому и чистовому калибру. При этом форма этих калибров диктуется профилем, который необходимо получить. А проход и форму черновых калибров определяет калибровщик.

Серия чередующихся однотипных калибров называется системами калибров. Чаще используют чередование неравноосных и равноосных калибров.

Чаще всего применяются системы:

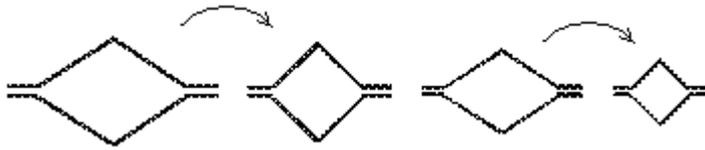
-прямоугольных (ящичных) калибров.2



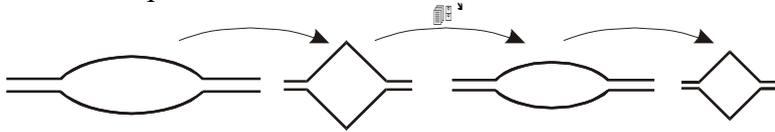
-гладких без ручьевых калибров.



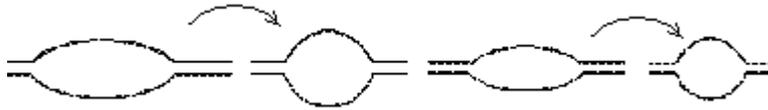
-ромб-квадрат.



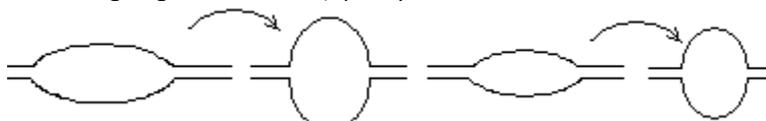
-овал-квадрат.



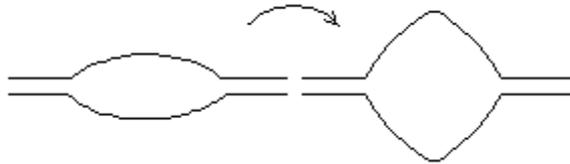
-овал-круг.



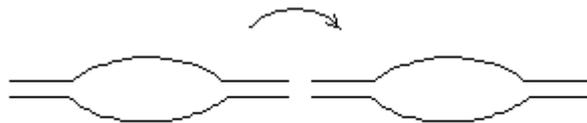
-овал – ребровой овал ($h_{po}/b_{po} = 1.15...1.3$).



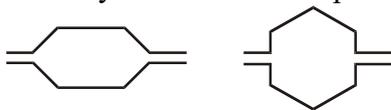
-овал - стрелчатый квадрат.



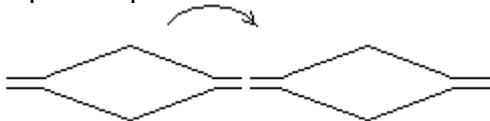
-овал – овал.



-шестиугольник-шестигранник.



- ромб – ромб.



-другие системы и комбинации систем.

3.1. Критерии технологической оценки систем калибров

1. *Гибкость системы калибров.*

1.1 Обеспечить возможность прокатки профилей широкого сортамента.

1.2 Возможность использования различных заготовок.

1.3 Возможность использования отдельно взятого калибра для нескольких проходов полосы.

1.4 Возможность получения различных профилей с минимальной перестройкой стана (овал – круг; ромб – квадрат)

2. Деформируемость.

- 2.1 Вытяжная способность.
- 2.2 Захватывающая способность.
- 2.3 Сдерживание уширения металла.
- 2.4 Устойчивость полосы в калибрах.
- 2.5 Хорошее отношение коэффициентов деформации.
- 2.6 Равномерность деформации.

3. Близость к однородному преобразованию.

- 3.1 Соответствие форм заготовки и профиля калибров.
- 3.2 Слабая развитость боковых не обжимаемых зон очага деформации.

4. Влияние на качество проката.

- 4.1 Удаление окалины с поверхности полосы.
- 4.2 Обеспечение однородности в проработке металла по его высоте.
- 4.3 Выкатываемость дефектов.
- 4.4 Качество поверхности, геометрия профиля.

5. Обеспечение надёжности и простоты в работе.

- 5.1 Ослабление валков из-за глубокого вреза калибра.
- 5.2 Простота настройки валков.

3.2. Системы калибров (распространенные)

Система прямоугольно-ящичных калибров.

Вытяжная способность $\lambda = 1,35 \dots 1,55$

Система применяется на блюмингах, заготовочных и крупносортовых станах. На сортовых, мелкосортных и проволочных станах в первых проходах.

Преимущества: гибкость, высокая

вытяжная способность, хорошая

захватывающая способность,

равномерность деформации по ширине

калибра, однородность преобразования,

хорошее удаление окалины, валки прочнее, чем при прокатке в диагональном квадратном калибре, хорошая устойчивость полосы.

Недостатки: геометрия готового профиля не отвечает высоким требованиям, обжатие только в двух направлениях,

возможность переполнения калибра при неправильной настройке.

Построение ящичных калибров.

Ширину по дну калибра B_v принимают меньше чем ширину раската B_o . Это способствует устойчивости.

$B_v = (0,9 \dots 0,95) B_o$ - с закруглением.

$B_v = (0,95 \dots 1,0) B_o$ - чистой.

$B_v = (1,0 \dots 1,05) B_o$ - квадрат с острым углом.

B_k определяется двумя способами:

1. $B_k = B_o + oB + (5 \dots 10) \text{мм.}$ oB - уширение.

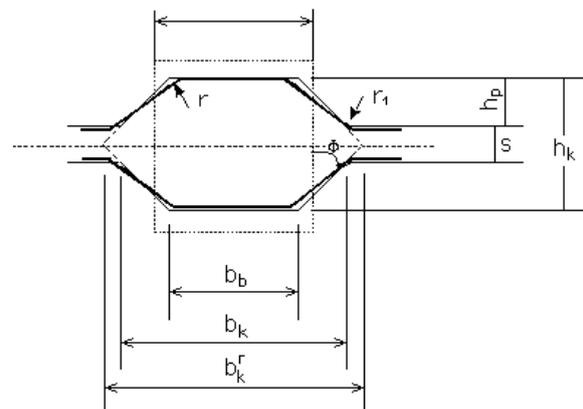
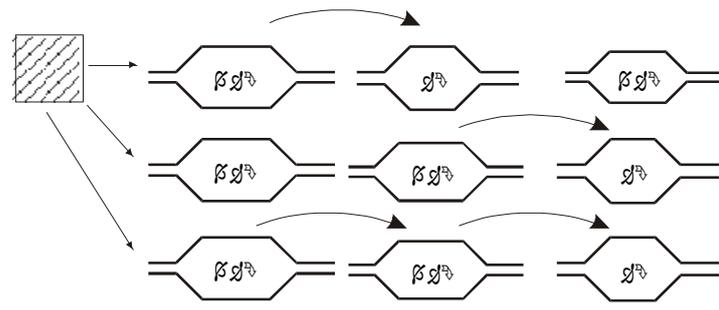
$$\text{tn}U = (B_k - B_v) / 2H_p$$

2. Задаём $\text{tn}U$.

$$B_k = 2H_p * \text{tn}U + B_v$$

Часто применяются калибры с двойным выпуском, у дна выпуск (10...15)%, у разъёма (20...35)%.

Глубину ручьёв выбирают следующим образом:



При $H1/B1 < 1,2$ $H_p = 0$ гладкая бочка.
 При $H1/B1 < 1,25 \dots 1,3$ $H_p = (0,2 \dots 0,3)H1$
 При $H1/B1 > 1,3$ $H_p = (0,35 \dots 0,45)H1$
 При $H1/B1 > 2$ $H_p = (H1 - S)/2$
 $S = (0,1 \dots 0,3)H1$

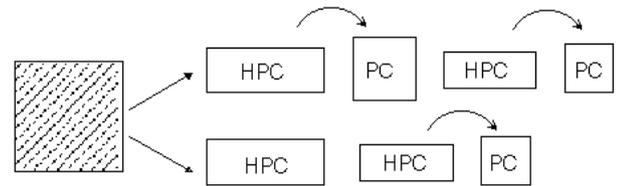
$S = (0,025 \dots 0,008)D_0$;

Радиусы:

$r = (0,15 \dots 0,25)H1$; $r1 = (0,8 \dots 1,0)r$

Прокатка на гладких валках.

Область применения: обжимные станы, различные черновые проходы на сортовых и заготовочных станах, все клетки при прокатке полосовой стали, вместо калиброванных валков на сортовых станах, особенно эффективно на компакт станах (в черновых группах).

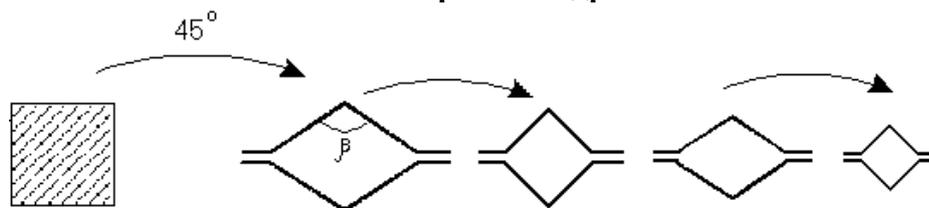


Вытяжка: до 1,22

Преимущество: гибкость, однородность и равномерность деформации, хорошее удаление окалины, прочность валков, не срезается твёрдый слой при нарезании ручьев, простота настройки, простота при валковой арматуры, возможность использования в любой клетке группы, меньше расход энергии, меньше парк валков.

Недостатки: низкая вытяжная способность, хуже захват, хуже устойчивость полосы.

Система ромб-квадрат.



Применяется: на мелкосортных, среднесортных и заготовочных станах.

Вытяжка: $\lambda = 1,15 \dots 1,4$

λ ромба = $(1,1 \dots 1,25) \lambda$ квадрата

$\beta = 110 \dots 120$ градусов - угол при вершине прокатки.

Преимущество: можно получать готовые профили из предшествующих калибров, хорошая вытяжная и захватывающая способность, хорошая устойчивость, однородность преобразования, сдерживаемость уширения, хорошая геометрия, качество поверхности, выкатываемость дефектов.

Недостатки: неравномерность деформации, нельзя ставить в первых проходах, так как плохое удаление окалины, ослабление валков из-за глубокого вреза, подкат может быть только квадрат.

Чистовой квадрат: - с острыми углами.

- радиусный

$r = (0,15 \dots 0,2)A$

A - сторона

квадрата.

$r = 0,15H_k$

$S = (0,01 \dots 0,02)D_0$

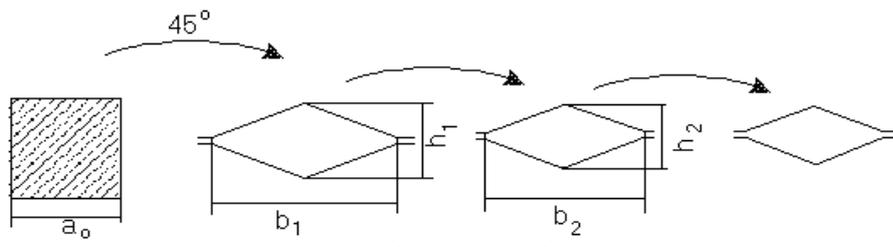
Система квадрат-квадрат.

Систему применяют редко. В основном в калибрующих проходах, а также в черновых клетях крупносортных станов.

В последнем случае угол при вершине будет равен $91 \dots 93$ градуса.

$V_k = (1,457 \dots 1,453)A$; $H_k = (1,42 \dots 1,379)A$; A - сторона квадрата.

Система ромб-ромб.



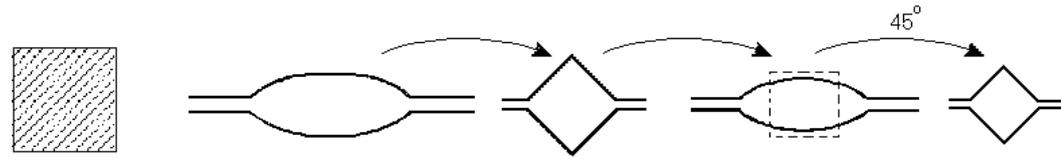
$$1.41a_0 > h_1 ; \quad 1.41a_0 < b_1; \quad h_1 < b_2; \quad h_2 < b_3.$$

Применяется: при прокатке качественных сталей на крупносортовых и среднесортовых станах в основном линейного типа.

и ромб и квадрат и шестигранник.

Эта систем позволяет получить среднюю и низкую вытяжную способность. Путём разведения валков можно получить

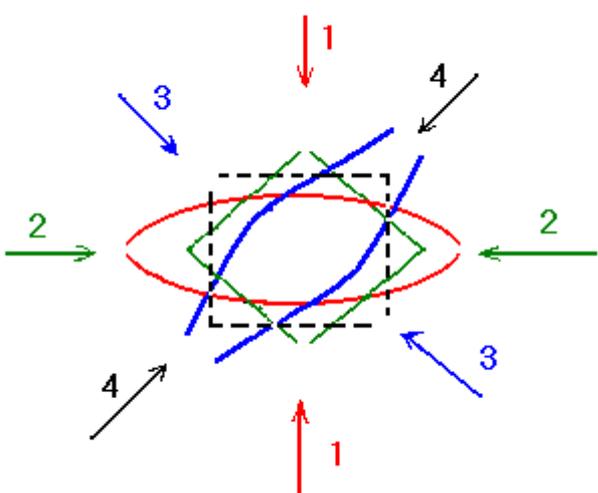
Система Овал-Квадрат.



$$\left. \begin{aligned} \lambda_{ОВ} &= 1.3 \dots 1.8 \\ \lambda_{КВ} &= 1.25 \dots 1.6 \end{aligned} \right\}$$

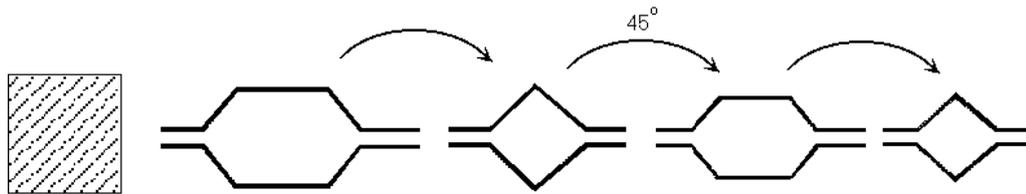
$$\lambda_{ОВ} = 1 + 1.5 (\lambda_{КВ} - 1)$$

Применяются: на непрерывных , мелкосортных и проволочных станах , там где нужна хорошая вытяжка.



Достоинства : высокая вытяжная способность , хорошая захватывающая способность , устойчивость квадратной полосы в овальном калибре , равномерность деформации квадратной полосы в овальном калибре , деформация осуществляется в четырех направлениях , уменьшение слоя залегания наружных поверхностных дефектов , постоянная смена углов обеспечивает лучшую проработку металла по его сечению. Недостатки : плохая устойчивость овальной полосы в квадратном калибре, неравномерность деформации овальной полосы в квадратном калибре, недостаточная гибкость системы , система не используется для получения готовых товарных профилей , ослабление валков из-за глубокого вреза квадратных калибров в валки валков, при прокатке в овальном калибре квадратного сечения с большим зазором возможны складки на боковых поверхностях.

Часто вместо системы овал –квадрат используют систему шестиугольник-квадрат.



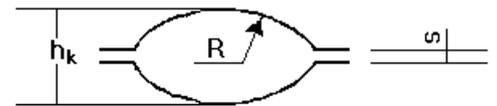
Система частично компенсирует недостатки системы овал-квадрат, но имеет более низкую вытяжную способность.

Построение овальных калибров.

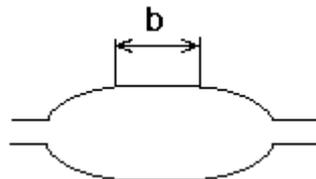
$$\frac{b_K}{h_K} = 1.5 \dots 3.0; \quad b_{OB} = \frac{3 \cdot S_{OB}}{2 \cdot h_{OB} + S}; \quad \text{и формула из /2/}$$

$$S = (0.15 \dots 0.2) h_K; \quad R = \frac{b_K^2 + (h_K - S)^2}{4 \cdot (h_K - S)};$$

$$h_{OB} = h_K$$



Часто используют плоский овал.



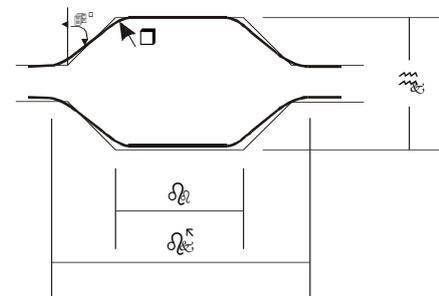
Построение шестиугольных калибров.

$$S = (0.15 \dots 0.2) h_K;$$

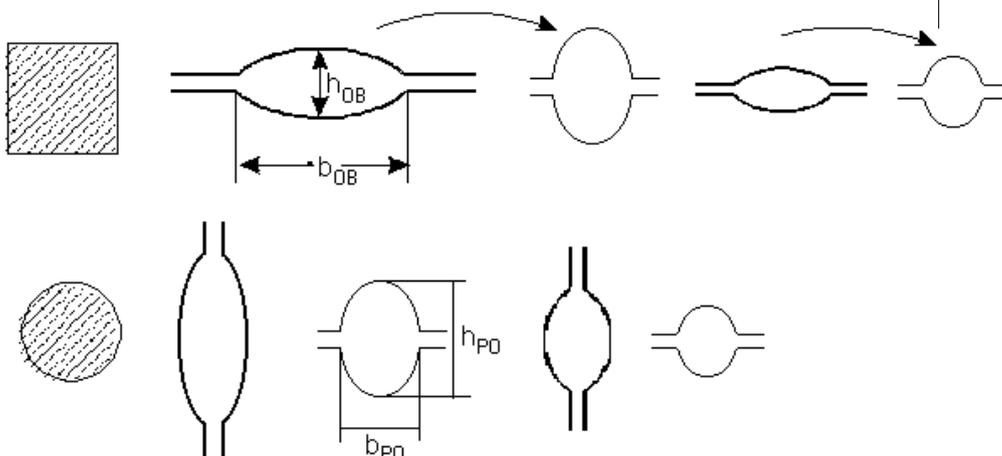
$$r = (0.45 \dots 0.5) h_K;$$

$$b_B = b_K - (h_K - S);$$

$$b_B = (0.85 \dots 1.05) a_0;$$



Овал - ребровой овал.



Применяются : на мелкосортных станах и проволочных станах , как непрерывного , так и линейного типа. В качестве черновых подготовительных калибров.

При прокатке специфических материалов (Ti) более предпочтительны т.к. нет острых углов.

$$\lambda = 1.2 \dots 1.35 ; \frac{h_{PO}}{b_{PO}} = 1.2 \dots 1.4.$$

Преимущества : нет нестандартной кантовки на 45° . Допускается прокатка ребрового овала в овальном и на плашку и на ребро. С соотношением осей $h_{р.ов}/b_{р.ов}=1.2\dots1.4$ хорошая устойчивость овала в ребровом овале . Плавное очертание формы и в ребре и в овале дает возможность прокатывать материалы не терпящие углов .

Универсальная система : можно раздвигать валки.

Недостатки : λ меньше чем в системе овал-квадрат, большая часть боковой поверхности не обрабатывается валками.

Построение ребровых овалов.

По известной h_k и b_k и радиусом дуги $R_{ов}$ проводят боковые поверхности. Затем радиус r скругляют по вершине.

$$r_{ов} = (0.7 \dots 1.0)b_k$$

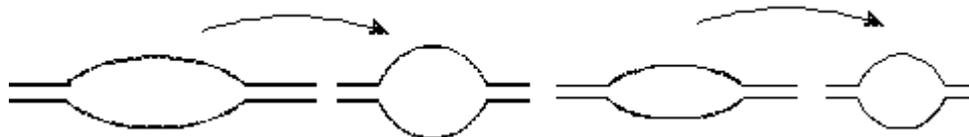
$$r = (0.2 \dots 0.25)r_{ов}$$

$$r_1 = (0.5 \dots 0.75)r$$

$$S = (0.1 \dots 0.15)h_{р.ов}$$

2 способ : по известной h_k и b_k , радиусом R проводят дуги по вершинам, а затем радиусом $R_{ов}$ сопрягают эти дуги с размером ширины калибра.

Овал-круг.



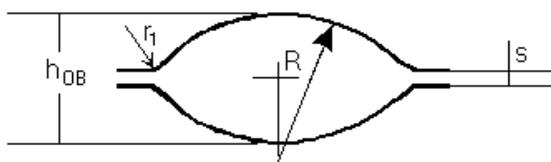
Применяется в качестве чистового и предчистового калибра, а также в качестве черновых на сортовых станах . $\lambda = 1.2 \dots 1.3$

Преимущества : гибкость т.е. можно получать готовые сечения из промежуточных , остальные преимущества такие же как и у системы овал-ребровой овал.

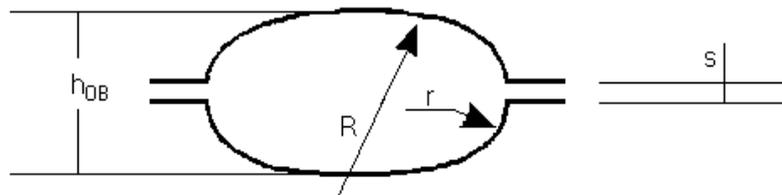
Недостатки: низкая вытяжка, низкая устойчивость овальной полосы в круглом калибре.

Разновидность овалов.

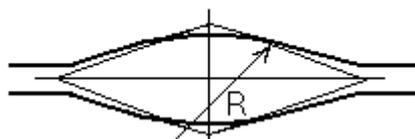
Одно-радиусный овал (в системе овал-круг должен быть с притуплением.)



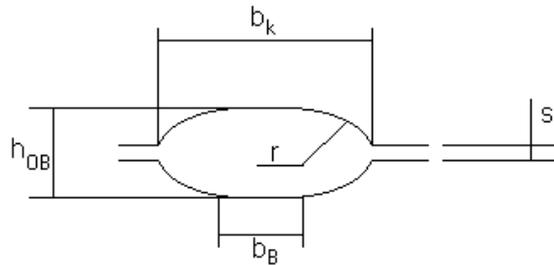
Двух радиусный овал (преимущества при прокатке крупных кругов)



Ромбовидный овал

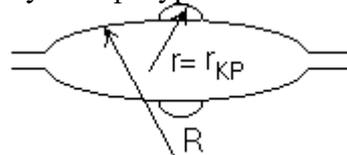


Плоский овал.



(лучше удерживается в направляющих роликах, применяется преимущественно в качестве подготовительного, но преимущество в качестве предчистового для прокатки крупных кругов и крупных и средних арматур)

Для повышения точности используется фигурный овал.



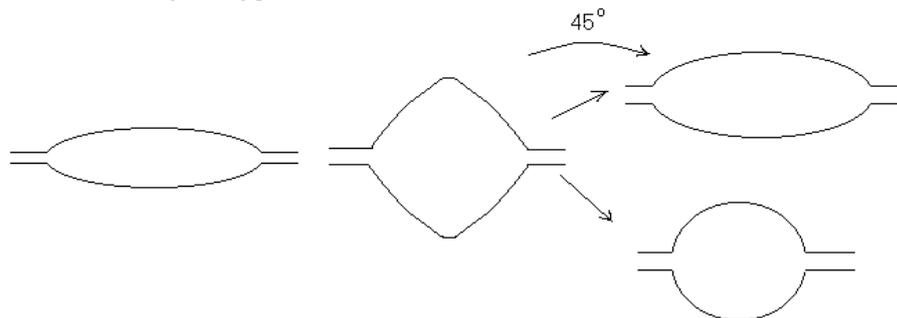
Овал - стрельчатый квадрат.

Система находит применение на мелкосортных и проволочных станах, особенно при прокатке специальных сталей и сплавов.

Система применяется в двух модификациях.

Овал - стрельчатый квадрат – овал.

Овал - стрельчатый квадрат-круг.



Система представляет собой среднее между ребровым овалом и квадратным калибром. При этом имеет достоинства обеих систем (деформируется по четырем направлениям, отсутствие острых углов и прямых линий.)

Применяют в случае, когда необходимо передать больше металла к чистовым проходам и необходимость смены направления, деформации для лучшей прорабатываемости и т.д.

Построение стрельчатого квадрата.

$S_{стр} = a(a + 8/3t)$ - площадь

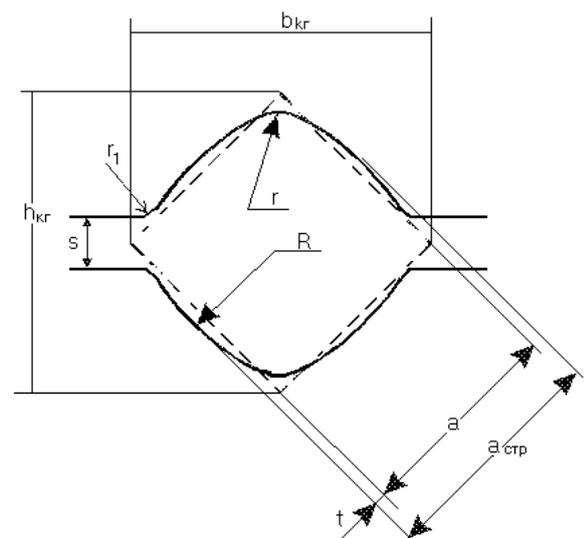
Если строить между двумя овалами :

$a_{стр} = (1.1 \dots 1.35) h_{ов}$, где $h_{ов}$ – высота следующего овала.

Если строить перед кругом : $a_{стр} = (0.9 \dots 1.0) d_{кр}$

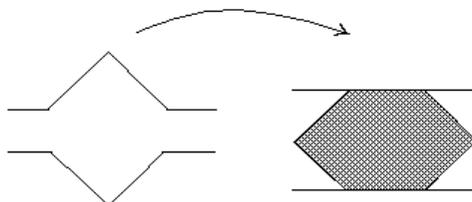
$a_{стр} = a + 2t$ $h_{кр} = b_{кр} = 1.41a$

$R = a + 4t/8t$ $t = (0.05 \dots 0.1)a$ $r = (0.15 \dots 0.2)a$



3.3. Нестандартные системы калибров

В некоторых случаях приходится применять нетиповые калибры в зависимости от ситуации



3.4. Схемы прокатки

Не нужно путать системы калибров и схему прокатки ! Схема прокатки – это последовательность систем калибров.

4. Расчёт калибровки валков на сортовых станах

4.1. Основные методы расчета

4.2. Последовательность расчета

1. Формирование исходных данных (3 группы),
2. Разработка схемы прокатки (определение числа проходов и формы и размера заготовки, выбор систем калибра, задание промежуточных равноосных сечений, вытяжек).
3. Расчёт формоизменения металла по проходам, режимы обжатия (определение в каждом проходе h, b, S и т.д.).
4. Конструирование и определение всех размеров в каждом проходе.
5. Расчёт температурно-скоростных режимов прокатки.
6. Определение энергосиловых параметров.
7. Проверка ограничений. (При невыполнении ограничений вмешиваемся в предыдущие этапы расчёта, либо формируем заново исходные данные).
8. Оценка эффективности калибровки (оценивают альтернативные варианты калибровки по различным показателям, чтобы обеспечить макс. Производительность станка, минимальные потери на перевалки, переходы, безаварийную работу и требуемое качество прокатки).
9. Оптимизация технологического процесса и валкового хозяйства.
10. Разработка при валковой арматуры и технологической оснастки.

4.3. Формирование исходных данных

1. Характеристика стана:
 - количество клетей, тип стана, технические параметры клетей, валков, тип подшипников, материал валков, расстояние между клетями.
2. Исходные технологические параметры:
 - марки сталей, температура заготовки, требования к точности и качеству, сортамент проката, пластометрические данные для расчёта ЭСП для каждой марки стали.
3. Начальные технологические параметры:
 - а). Задана форма, размеры конечного профиля и исходной заготовки, количество проходов и какой-то скоростной

параметр прокатки.

Для линейных станов либо пв, либо пдв. Это вариант для расчёта калибровки работающего стана

б). Заданы готовый профиль, количество проходов и скоростной показатель (по профилю узнаем тип стана).

Это вариант как для работающего, так и для неработающего типа стана

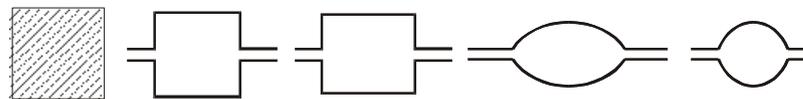
в), Заданы готовый профиль, исходная заготовка, скоростной показатель.

4.4. Разработка схемы прокатки.

В зависимости от того, как задана третья группа исходных данных.

Если вариант А, то сразу приступаем к разработке схемы прокатки.

Если задаём промежуточное сечение, то его размеры корректируют сравнивая средние вытяжки предыдущие и последующие. В черновых проходах вытяжка должна быть



больше.

16

12

14	$U_c(1-2)=16/14=1,14$	$U_c(3-4)=14/12)*0,866=1,34$	не
подходит.			
13	$U_c(1-2)=1,23$	$U_c(3-4)=1,25$	

если задан вариант Б.

По типу стана задаём U_c , $U_{суммарная}=U_c^n$, где n - число проходов. $S_0=S_n*U_{сум}$.

Зная площадь заготовки задаём

размеры. По уточнённой заготовке уточняем $U_{сум.}=S_0/S_n$, $U_c=U_{сум.}^{1/n}$. Далее также как и в первом варианте.

Если задан вариант В.

По типу стана находим U_c , $U_{сум.}=S_0/S_n$, $n=\ln U_{сум.}/\ln U_c$. Уточним $U_c=U_{сум.}^{1/n}$. Далее возвращаемся к первому варианту.

4.5. Расчёт формоизменения.

Применяется три группы методов расчёта формоизменения:

- 1). С использованием эмпирических формул, практических графиков.
- 2). С использованием правил приведения полосы сложной формы к полосе прямоугольной.
- 3). С использованием механики деформируемого тела.

4.5.1. Эмпирические методы

При горячей прокатке лучше считать по горячим размерам $d_r=d_x*K$, где K- коэффициент теплового расширения.

$K=1,012...1,015$ - для чёрных металлов.

При определении размеров готового профиля нужно учитывать заданную точность готового профиля (допуски)

$$d_x=d_n+(d_1-d_2)/2 \quad d_r=K(d_n*(d_1-d_2)/2).$$

Пример:

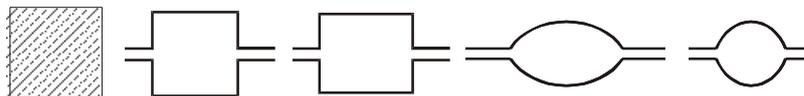
Определим размеры калибра и горячей полосы диаметром 20 обычной степени точности $d_r=1,012((20+(0,3-0,5)/2)=20,13$ мм.

Если катаем металл который потом обтачивается $dx=dn+d1/2$ $dx=dn-d2/2$
 Более выгодно катать в минусовом поле допуска.

Различают расчёты:

- по ходу прокатки
- против хода прокатки
- комбинированный

По ходу прокатки.



1 проход:

задаём обжатие

Находим

методике.

-высота полосы.
по какой либо

2 проход:

задаём или считаем

-если есть кантовка

- нет кантовки

-если есть кантовка

- нет кантовки

Если во втором проходе не получились желаемые размеры, то корректируем обжатия в предыдущем или данном проходе. И так далее по ходу стана.

Расчет формоизменения по методике УПИ

Существует два алгоритма расчета:

I. Заданы два равноосных сечения, необходимо найти размеры неравноосного сечения находящегося между ними.

Дано: $h_0, b_0, S_0; h_1, b_1, S_1; D_0, n_в, t_0$

1. Находим приведенный диаметр валков и суммарную вытяжку в двух проходах

$$A_1 = (D_n - h_1) / h_1 = D_v / h_1$$

$$\lambda \Sigma = S_0 / S$$

2. По номограмме $\lambda \Sigma = \lambda(A_1, a, \alpha)$ находим a и α .

3. По номограмме $\lambda_1 = \lambda(1/\eta_1, a, A_1)$ находим $1/\eta_1$ и λ_1 .

4. Считаем размеры неравноосной полосы и калибра при указанном коэффициенте заполнения калибра δ :

$$b = h_1 * 1/\eta_1$$

$$h = b/a$$

$$b_k = b/\delta$$

5. Определяем λ_2 и $1/\eta_2$ во втором калибре

$$\lambda_2 = \lambda \Sigma / \lambda_1$$

$$1/\eta_2 = h_0/h$$

6. По известным формулам считаем максимально допустимые углы захвата α_1 и α_2 . Находим также допустимые отношения сторон неравноосного сечения $[a]_{\min}$ и $[a]_{\max}$.

7. Проверяем выполнение условия захвата и устойчивости:

$$[\alpha_0] < \alpha_0$$

$$a_{\min} < a < a_{\max}$$

II. Необходимо определить размеры большего равноосного сечения и размеры неравноосного сечения.

1. Находим приведенный диаметр валков

$$A1=(Dн-h1)/h1=Dв/h1$$

2. Задаем или определяем по формулам приближенные значения допустимых углов захвата в обоих калибрах и максимально допустимое отношение осей промежуточного сечения.

3. По номограмме $\lambda\Sigma=\lambda(A1, a, \alpha)$ находим допустимое значение суммарного коэффициента вытяжки. При этом находят три значения коэффициента вытяжки $\lambda\Sigma a$, $\lambda\Sigma a1$, $\lambda\Sigma a2$. Принимают наименьшее из этих значений.

4. Находят площадь поперечного сечения исходной равноосной полосы:

$$S0=S1*\lambda\Sigma$$

5. По формулам для определения площади поперечного сечения считают размеры большего равноосного сечения полосы:

$$Hо=Во=f(Sо)$$

6. Определяют коэффициент деформации и размеры промежуточного сечения полосы по предыдущей методике.

7. Проверяем выполнение условия захвата и устойчивости:

$$[\alpha0]<\alpha0$$

$$amin<a<amax$$

4.5.3. Методы приведения

Существует четыре метода приведения:

1. Метод соответственной полосы;
2. Метод приведенной полосы;
3. Метод описанных прямоугольников;
4. Метод эквивалентной полосы.

Рассмотрим эти методы подробнее:

Метод соответственной полосы

Считаем, что площадь соответственной полосы равна площади реальной полосы:

$$Sc=S$$

Считаем также, что отношения сторон равны:

$$hc/bc=h/b=a$$

Тогда получаем

$$hc=a*bc$$

$$Sc=hc*bc=abc=S$$

Отсюда

$$bc=(S/a)$$

$$hc=a*bc$$

Метод приведенной полосы

Считаем, что площадь приведенной полосы равна площади реальной полосы:

$$Spr=S$$

Считаем также, что высоты равны:

$$bпр=b$$

Тогда получаем

$$hпр=Spr/bпр$$

Метод описанных прямоугольников

Размеры полосы принимаются равными габаритным размерам полосы, а площадь - произведению высоты на ширину.

Метод эквивалентной полосы

Ширина эквивалентной полосы равна ширине приведенной полосы

$$b_{\text{э}} = b_{\text{пр}} = b$$

Высота эквивалентной полосы равна

$$h_{\text{э}} = (h_{\text{с}} + h_{\text{пр}}) / 2$$

или

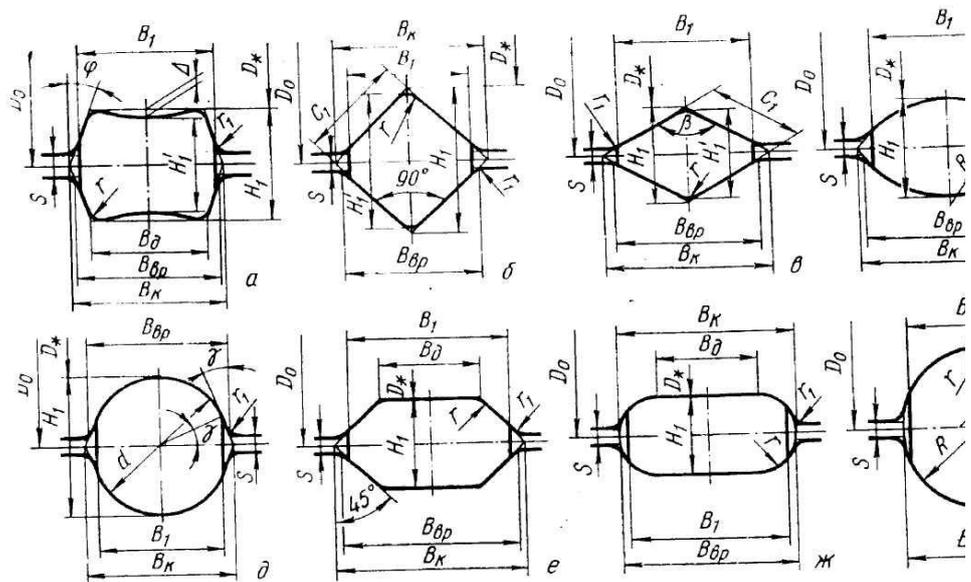
$$h_{\text{э}} = \square h_{\text{с}} * h_{\text{пр}}$$

Эти методы применяются для:

- расчета формоизменения
- расчета Δh и Δb

4.5. Конструирование калибров

Эскизы калибров простых профилей



4.6. Расчет скоростных режимов

4.7. Расчет температурных режимов

Существует программа для расчета температурного режима - **ТЕМП** В которой изложены три варианта методик:

- методика ЧГТУ
- методика ДПИ
- методика УПИ

При прокатке на блюминге принимается линейная зависимость температуры от номера прохода:

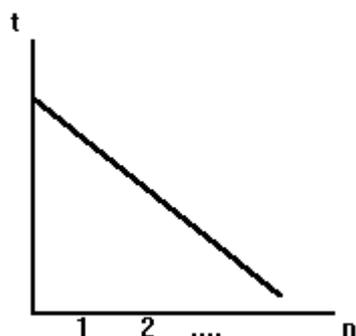


Рис.1 Зависимость температуры от номера прохода

$$t_i = t_0 - (t_0 - t_n) \cdot (i - i_0) / (i_n - i_0)$$

Общий подход при расчете температуры:

$$t_i = t_{i-1} - \Delta t_{и} - \Delta t_{к} - \Delta t_{в} + \Delta t_{д}$$

где $\Delta t_{и}$ – потери на излучение;

$\Delta t_{к}$ – потери на конвективный обмен с воздухом;

$\Delta t_{в}$ – потери на охлаждение металла от валков;

$\Delta t_{д}$ – нагрев за счет пластической деформации.

Как правило достаточно трудно сосчитать не которые потери поэтому для их расчета применяют ряд методик.

Например методика УПИ:

Суммарную потерю тепла можно найти по формуле:

$$\Delta t = t_0 - 1000 / \sqrt[3]{(0,0255 \cdot \Pi \cdot \tau / S + (1000/t_0 + \Delta t_{д} + 273)^3)} + 273$$

где t_0 – температура раската перед входом в рассматриваемый калибр;

Π – периметр поперечного сечения перед входом в калибр;

τ – время охлаждения раската;

S – площадь поперечного сечения перед входом в калибр;

$\Delta t_{д}$ - нагрев за счет пластической деформации.

Величину $\Delta t_{д}$ можно найти по формуле:

$$\Delta t_{д} = 0,183 \cdot \sigma \cdot \ln \lambda$$

где σ – сопротивление металла пластической деформации;

λ – коэффициент вытяжки.

4.8. Энергосиловые параметры

4.9 Критерии эффективности калибровки

(чем можно оценить рациональность калибровки ?)

Выбор оптимальных схем прокатки и параметров калибровки должны обеспечить наиболее полное использование оборудование главных линий стана в отношении его прочности, мощности привода и условий захвата металла валками, качество проката, наибольшую производительность стана.

В МИСИС разработали систему критериев, которая позволяет количественно оценить влияние различных факторов на эффективность совершенствования калибровки. Для оценки использования оборудования в отношении прочности механизмов и деталей главных линий стана введен коэффициент

$$K_{pi} = \frac{P_i}{[P]},$$

где P_i и $[P]$ – фактическое и допустимое усилие прокатки .

Значение $[P]$ определяется из условия прочности наиболее слабого узла или детали главной линии стана. Для сортовых станов таким элементом обычно являются рабочие валки. При многониточной прокатке, а также в клетях линейного стана с перекрытием проходов необходимо учитывать суммарную нагрузку на валки клетки.

Использование мощности привода определяется коэффициентом

$$K_{\mu j} = \frac{N_{bj}}{N_{hj}},$$

где N_{bj} ; N_h – фактическая мощность прокатки, приведенная к валу двигателя, и номинальная мощность привода валков. На станах линейного типа необходимо учитывать фактическую среднеквадратичную мощность по клетям, приводимым от одного двигателя, и учитывать перекрытие проходов в отдельных клетях.

Использование возможностей стана по захвату металла валками характеризуется коэффициентом

$$K_{\alpha} = \frac{\alpha_{oi}}{[\alpha_o]},$$

где α_{oi} , $[\alpha_o]$ – фактический и допустимый углы захвата металла валками.

$[\alpha_o]$ – можно найти по коэффициенту f

$[\alpha_o]$ – f или рассчитать по методике «УПИ»

обобщенная оценка использования оборудования стана определяется для каждого прохода по величинам коэффициента K_p , K_{μ} , K_{α} , достигающего наиболее высокого значения в данном проходе K_{max}

и

$$K_{v\delta i} = \rho (1 - | 1 - K_{max i} |).$$

Здесь

$\rho = 0$, если $K_{max} > 1 + B$;

B – погрешность вычислений ;

$\rho = 1$ во всех остальных случаях.

За весь цикл прокатки для каждого профиля эффективность использования оборудования оценивается по среднеарифметической величине

$$C_{об} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n K_{об i} \quad (1)$$

где n – число проходов (или клетей) для получения соответствующего профиля.

Вытяжная способность калибров или соотношение между полезно затраченной работой (обжатие и вытяжка) и всей работой пластической деформации, включая поперечную, оценивается коэффициентом деформации

$$K_{дi} = 1 - \frac{\lambda_i^2 (\beta_i - 1)}{2(\lambda_i \beta_i - 1)},$$

где λ_i и β_i – коэффициенты вытяжки и уширения ; $\lambda = S_o/S_1$; $\beta = b_1/b_o$.

За весь цикл прокатки обобщенная оценка эффективности деформации выражается критерием

$$C_{\delta} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n K_{\delta i} \quad , \quad (2)$$

представляющим среднеарифметическую величину оценок деформации в каждом проходе.

Известно, что большинство поверхностных дефектов проката образуется на свободной от контакта с валками поверхности. Поэтому важно обеспечить правильное заполнение

калибра металлом и выбрать оптимальную величину зазора между валками. Другой причиной образования поверхностных дефектов, связанной с калибровкой валков, является неравномерная выработка калибров, которая образуется в результате неодинакового обжатия металла по ширине калибра.

Для оценки вероятности прокатки без образования поверхностных дефектов используется критерий

$$K_{ki} = \sqrt{K_{mi} \cdot K_{vi}},$$

где $K_{mi} = \rho \left(1 - \frac{\Pi_{ei}}{\Pi_i}\right)$ – коэффициент, характеризующий вероятность прокатки без образования поверхностных дефектов.

Результаты расчета эффективности калибровки.

Таблица 8.

№ пр.	Kp	Kп	Kα	Kл	vk	v0	Kv	Km	Kk
1	0.650	0.314	0.744	0.904	0.972	0.982	0.991	0.890	0.995
2	0.756	0.491	0.715	0.882	0.958	0.984	0.972	0.765	0.862
3	0.472	0.399	0.772	0.810	0.957	0.987	0.969	0.790	0.875
4	0.493	0.509	0.767	0.822	0.940	0.989	0.948	0.832	0.888
5	0.547	0.349	0.766	0.885	0.926	1.087	0.826	0.650	0.733
6	0.559	0.343	0.935	0.890	0.997	1.186	0.811	0.865	0.838
7	0.565	0.528	0.746	0.878	0.997	1.214	0.781	0.872	0.825
8	0.280	0.175	0.530	0.929	0.996	1.112	0.883	0.899	0.890
9	0.734	0.583	0.424	0.946	0.993	0.843	0.849	0.913	0.880
10	0.549	0.409	0.450	0.944	0.992	0.787	0.794	0.810	0.802
11	0.596	0.982	0.582	0.909	0.990	0.751	0.738	0.898	0.814
12	0.649	0.979	0.603	0.894	0.989	0.781	0.797	0.905	0.849
13	0.321	0.336	0.410	0.949	0.986	0.735	0.745	0.874	0.807
14	0.379	0.346	0.420	0.870	0.986	0.787	0.798	0.945	0.868

Исходные данные к расчету эффективности

Таблица 9

№ клетки	α град.	[α]	P, кН	[P], кН	Nв, кВт	Nн, кВт
1	26	35	4419.32	6780	628.7	2000
2	25	35	5128.71	6780	982.8	2000
3	27	35	3205.89	6780	797.8	2000
4	26.6	35	3349.02	6780	1018.6	2000
5	24.6	32	2011.12	3680	697.6	2000
6	30	32	2264.10	4050	686.3	2000
7	24	32	1786.58	3160	1056.6	2000
8	17	32	1134.89	4050	349	2000
9	12.729	30	1411.18	1920	1167.7	2000
10	13.501	30	819.43	1490	819.8	2000
11	17.470	30	1145.64	1920	1965.3	2000
12	18.102	30	967.7	1490	1959.8	2000
13	12.324	30	617	1920	1076.6	3200
14	12.491	30	565.019	1490	1108.8	3200

5. Расчет режимов деформации при прокатке листов

5.1. Методика расчета режимов обжатий

Современными методами расчета, имеющими теоретические толкования, являются:

- расчет по предельным углам захвата;
- расчет по использованию полной мощности электродвигателей, если есть запас по прочности валков и прочности передаточных механизмов;
- расчет, основанный на равенстве полных давлений металла на валки в каждом проходе;
- по прочности валков (если обеспечивает N двигателя)
- расчет режимов обжатий по $M_{кр}$ двигателя;
- расчет режимов прокатки по коэффициентам относительной энергоемкости с учетом энергосиловых и прочностных характеристик оборудования и особенностей технологии;
- расчет по коэффициентам высотной деформации;
- расчет по величине относительной деформации;
- расчет режимов деформации при прокатке толстолистовой стали с задачей раската «на угол» или с кантовкой на 90^0
- расчет по кривым удельного расхода энергии на 1 тонну проката листовой стали;
- расчет, основанный на использовании пластичности металла;

5.2. Определение размеров подката

5.3. Расчет по коэффициентам высотной деформации

Обычно на любом листопрокатном стане известны размеры исходного листа (сляба) и (или) конечного профиля. Для расчета обжатий задаются величины обжатия в первом и последнем проходах Δh_{min} и Δh_{max} (по ходу прокатки) исходя из условия захвата металла валками, мощности электродвигателя, прочности валков и др. определяют коэффициент высотной деформации $(1/\eta)_1$ и $(1/\eta)_n$.

$$(1/\eta)_1 = \frac{H}{H - \Delta h_1}; (1/\eta)_n = \frac{h_n + \Delta h}{h_n}$$

Иногда поступают так: задают или определяют величину среднего обжатия

$$\Delta h_c = \frac{\Delta h_{max} + \Delta h_{min}}{2}$$

и, зная величину суммарного обжатия $\Delta h_\Sigma = H - h$, определяют число проходов

$$n = \frac{\Delta h_\Sigma}{\Delta h_c}$$

Общий коэффициент высотной деформации

$$\left(\frac{1}{\eta}\right)_\Sigma = \frac{H}{h}$$

средний коэффициент высотной деформации

$$\left(\frac{1}{\eta}\right)_{cp} = \sqrt[n]{\left(\frac{1}{\eta}\right)_\Sigma}$$

В первом проходе $\left(\frac{1}{\eta}\right)_1 = \frac{H}{h_1}$.

или $\Delta h_1, \Delta h_n$, тогда $(1/\eta)_1 = \frac{H}{H - \Delta h_1}; (1/\eta)_n = \frac{h_n + \Delta h}{h_n}$

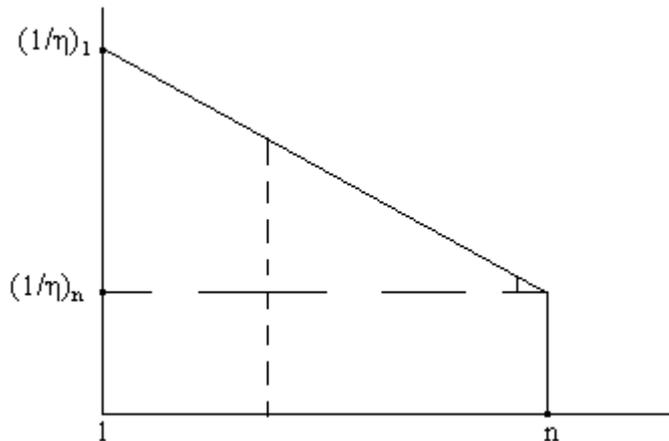
$$(1/\eta)_c = \frac{\left(\frac{1}{\eta}_1 + \frac{1}{\eta}_n\right)}{2} \quad \text{или} \quad (1/\eta)_c = \sqrt{\frac{1}{\eta}_1 \cdot \frac{1}{\eta}_n}$$

$$\text{А затем } n = \frac{\lg \frac{1}{\eta}}{\lg \frac{1}{\eta_c}}$$

Из практики известно, что величина $(1/\eta)$ уменьшается по ходу прокатки, что обусловлено потерей металлом пластичности, уменьшением толщины полосы и т.п. Приняв линейный закон изменения коэффициента высотной деформации. При этом для сохранения закономерности делают так :

Т.к. $(1/\eta)_1 > (1/\eta)_{cp}$, то $(1/\eta)_1 / (1/\eta)_{cp} = C$, при этом $C > 1$, а затем

$$\frac{(1/\eta)_{cp}}{C} = (1/\eta)_n$$



Алгоритм расчета по коэффициентам высотной деформации.

1. Задают Δh_1 (например из условия прочности валков или предельных углов захвата)
2. Задают Δh_n (например, 10...20 % от h_n)

$$3. \frac{1}{\eta_1} = \frac{h_0}{h_0 - \Delta h_1}; \frac{1}{\eta_n} = \frac{h_n + \Delta h_n}{h_n}$$

$$4. \frac{1}{\eta_c} = \sqrt{\frac{1}{\eta_1} \cdot \frac{1}{\eta_n}} \text{ или } \frac{1}{\eta_c} = \frac{\frac{1}{\eta_1} + \frac{1}{\eta_n}}{2}$$

$$5. \frac{1}{\eta_\Sigma} = \frac{h_0}{h_n}$$

$$6. n = \frac{\lg \frac{1}{\eta_\Sigma}}{\lg \frac{1}{\eta_c}}$$

7. Строим график

8. Считаем $(1/\eta)_i$

8.1. Если по ходу прокатки $(1/\eta)_1, h_0, \Delta h_1$ – известны

$$\text{Определяем } h_2: \frac{1}{\eta_2} = \frac{h_1}{h_2};$$

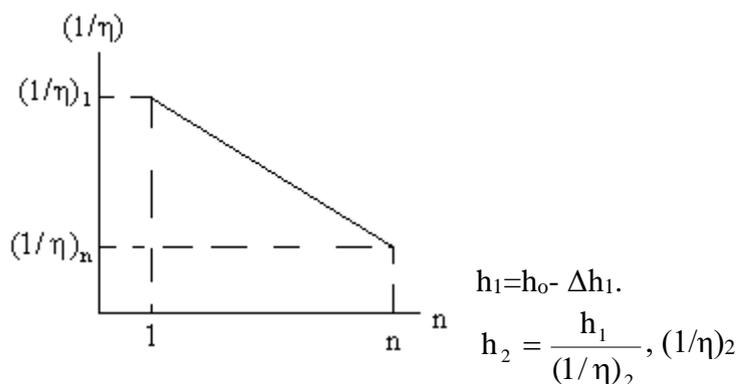
–из графика, $\Delta h_2 = h_1 - h_2$

8.2. Если против хода прокатки

$(1/\eta)_n, h_n, \Delta h_n$ – известны

$$h_{n-1} = h_n + \Delta h_n; \frac{1}{\eta_n} = \frac{h_{n-2}}{h_{n-1}}; h_n = h_{n-1} \cdot \frac{1}{\eta_{n-1}}; \Delta h_{n-1} = h_{n-2} - h_{n-1}$$

Можно и так



$$3. \Delta h_c = \frac{\Delta h_{\max} + \Delta h_{\min}}{2}$$

$$4. \Delta h_{\Sigma} = h_o - h_n$$

$$5. n = \frac{\Delta h_{\Sigma}}{\Delta h_c}$$

$$6. \left(\frac{1}{\eta}\right)_{\Sigma} = \frac{h_o}{h_n}; \left(\frac{1}{\eta}\right)_{cp} = \sqrt[n]{\left(\frac{1}{\eta}\right)_{\Sigma}}; \left(\frac{1}{\eta}\right)_1 = \frac{h_o}{h_o - \Delta h_1}; (1/\eta)_n = \frac{h_n + \Delta h_n}{h_n}$$

7. Строим график

8. Считаем $(1/\eta)_i$ можно при построении.

8.1. Если на графике наблюдать следующее

$$\frac{1}{\eta_1} > \frac{1}{\eta_c} \text{ тогда } (1/\eta)_1 / (1/\eta)_c = k, \text{ а раз принят линейный закон, то } (1/\eta)_c / (1/\eta)_n = k,$$

следовательно $(1/\eta)_n = (1/\eta)_c / k$ (или наоборот идти от $(1/\eta)_n$)

8. Третий вариант (чтобы не задавать Δh_n по α или др.).

Задаем Δh_1 и Δh_c имея h_o и h_n .

$$\text{Считаем } \Delta h_{\Sigma} = h_o - h_n; n = \frac{\Delta h_{\Sigma}}{\Delta h_c}.$$

Строим график имея ввиду $\left(\frac{1}{\eta}\right)_{\Sigma} = \frac{h_o}{h_n}$. $(1/\eta)_1 / (1/\eta)_c = k$; $(1/\eta)_c / (1/\eta)_n = k$; $(1/\eta)_n = (1/\eta)_c / k$;

$$\left(\frac{1}{\eta}\right)_{cp} = \sqrt[n]{\left(\frac{1}{\eta}\right)_{\Sigma}}; \left(\frac{1}{\eta}\right)_1 = \frac{h_o}{h_1}$$

При прокатке толстолистовой стали на одно- или двух-клетьевых станах с прокаткой в поперечном направлении до получения необходимой ширины на графике строят две линии (или два графика) – одна(один) для коэффициента высотной деформации при прокатке в поперечном направлении, вторая – при продольной прокатке.

H, B – размеры сляба

h, b – размеры листа

Если $B < b$ то делают поперечную прокатку если $B = b$ то по считают обычной методике.

1. $(1/\eta)_{\text{общ}}$ для раскатки сляба в поперечном направлении на ширину листа.

$$\frac{1}{\eta_{\text{общ}}} = \frac{H}{h_n^I} = \frac{b}{B}, \text{ здесь } h_n^I - \text{неизвестно } \Delta b \approx 0, \text{ то есть } \frac{1}{\eta_{\text{общ}}} = \frac{b}{B}.$$

2. находим толщину для получения нужной ширины (в I этапе получения раската)

$$\frac{1}{\eta_{\text{общ}}} = \frac{H}{h_n^I} \Rightarrow \Delta h_n^I = \frac{H}{\frac{1}{\eta_{\text{общ}}}}$$

3. Находим $\Delta h_{\Sigma}^I = H - h_n^I$. Теперь в I этапе (поперечной прокатки) известно

$h_o, h_n^I \Rightarrow$ поступают как сказано ранее:

Задаем $\Delta h_1, \Delta h_n^I$, далее $(1/\eta)_1, (1/\eta)_c^I, n^I$ и строим график для поперечной раскатки (I этап)

4. Находим Δh_{Σ} после горизонтальной кантовки и прокатки до конечной толщины

$$\Delta h_{\Sigma}^{\text{вдоль}} = \Delta h_{\Sigma}^{(II)}; \Delta h_{\Sigma}^{\text{вдоль}} = h_n^{(I)} + h_n^{(II)}; \Delta h_{\Sigma}^{II} = h_n^{(I)} + h_n^{(II)}$$

Теперь как для второго этапа известны $h_o^{(II)}$ и $h_n^{(II)}$

А дальше как говорили.

Важным моментом является определение величины обжатия в 1 проходе. Часто используется условие прочности валков.

$$\text{Тогда } \Delta h_{\max}^P = \frac{P^2}{(p_c \cdot B)^2} \cdot \frac{1}{R} \text{ и } \Delta h_{\max} \approx (0.8 \dots 0.9) \cdot \Delta h_{\max}^P;$$

Где p_c – среднее удельное давление, принимаемое по опытным данным (например Литовченко или Григорян) Так для толстого листа $p_c \approx 100$ МПа

P – усилие прокатки

$$[P] = \frac{0.4 \cdot D^3 \cdot [\sigma_{\text{изг}}]}{L + 1 - 0.5B}, \text{ мН};$$

где $[\sigma_{\text{изг}}]$ –принимается в зависимости от материала и способа изготовления валков. Так для стальных валков $[\sigma_{\text{изг}}] = 120 \dots 140$ мН (Литовченко)

L – длина бочки валка;

l – длина шейки валка.

Ограничения.

По σ , P , M , ресурс пластичности.

Пример

Разработать режимы из листа 2.5 мм до листа 0.8 мм.

$$\Delta h_1 = 0.9 \text{ мм.}$$

$$\Delta h_n = 0.15 \text{ мм}$$

$$\Delta h_{\Sigma} = 2.5 - 0.8 = 1.7; \Delta h_c = (0.9 + 0.15)/2 = 0.525. \quad n = \frac{\Delta h_{\Sigma}}{\Delta h_c} = 3.23 \quad n \approx 3.$$

$$\text{Или } (1/\eta)_1 = \frac{h_0}{h_0 - \Delta h_1} = \frac{2.5}{2.5 - 0.9} = 1.5625; \quad (1/\eta)_n = \frac{0.8 + 0.15}{0.15} = 1.1875$$

$$\text{или } (1/\eta)_c = \frac{(1.5625 + 1.1875)}{2} = 1.375$$

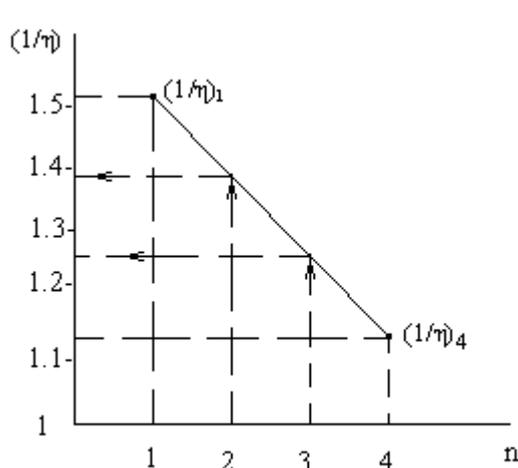
$$n = \frac{\lg \frac{1}{\eta_{\Sigma}}}{\lg \frac{1}{\eta_c}} = \frac{\lg 3.125}{\lg 1.375} = 3.6 \quad \text{или} \quad \frac{\lg 3.125}{\lg 1.375} = 3.57$$

$$n \approx 4$$

$$(1/\eta)_{\Sigma} = 2.5 / 0.8 = 3.125$$

$$\left(\frac{1}{\eta}\right)_{\text{cp}} = \sqrt[n]{\left(\frac{1}{\eta}\right)_{\Sigma}} = \sqrt[4]{3.125} = 1.3296. \quad k = (1/\eta)_1 / (1/\eta)_c \Rightarrow k = 1.5625 / 1.1875$$

$$(1/\eta)_n = (1/\eta)_c / k = 1.3296 / 1.1875 = 1.1197$$



$$\left(\frac{1}{\eta}\right)_2 = 1.38; \quad \Delta h_2 = \quad ; h_2 =$$

$$\left(\frac{1}{\eta}\right)_3 = 1.24; \quad \Delta h_3 = \quad ; h_3 =$$

$$\left(\frac{1}{\eta}\right)_2 = \frac{h_1}{h_2} \Rightarrow$$

$$h_2 = h_1 / (1/\eta)_2 = (h_0 - \Delta h_1) / 1.38 =$$

$$= (2.5 - 0.9) / 1.38 = 1.16$$

$$\Delta h_2 = 1.6 - 1.16 = 0.44 \text{ мм.}$$

$$h_3 = \frac{h_2}{(1/\eta)_3} = 1.16/1.24 = 0.93$$

$$\Delta h_3 = 1.16 - 0.93 = 0.23 \text{ мм.}$$

5.4. Расчет по коэффициентам относительной деформации

5.5. Метод расчета по показателям относительной энергоёмкости

Введем косвенный коэффициент загрузки стана пропорциональный среднему удельному давлению – показатель энергетических затрат.

Показатель суммарных энергетических затрат

$$\Theta = \sigma_{\text{ср}} \cdot \varepsilon_k \quad (1),$$

где $\sigma_{\text{ср}}$ – средний предел текучести; ε_k – суммарное относительное обжатие за n проходов
Затраты в j проходе

$$\Theta_j = \sigma_{\text{ср}} \cdot \varepsilon_j \quad (2)$$

в общем виде показатель энергетических затрат

$$\Theta = \int_0^{\varepsilon_k} \sigma_s(\varepsilon) d\varepsilon \quad (3)$$

$$\Theta_j = \int_{\varepsilon_{j-1}}^{\varepsilon_j} \sigma_s(\varepsilon) d\varepsilon \quad (4)$$

$$\text{относительная энергоёмкость в } j \text{ проходе } Y_j = \Theta_j / \Theta \leq 1 \quad (5)$$

оценка влияния сил трения на энерго–затраты как влияние жесткости полосы

$$q_j = (\Theta_j / \Theta) \cdot (\lambda_j / \lambda) \quad (6)$$

Показатель суммарной относительной энергоёмкости процесса

$$\Pi_j = 1/2 \cdot (Y_j + q_j) = 1/2 \cdot (\Theta_j / \Theta) \cdot (1 + h_k / h_j) \quad (7)$$

где Θ_j и Θ – по (3) и (4).

Если задать $\sigma_t(\varepsilon)$ например по Третьякову $\sigma_s = \sigma_{so} + a\varepsilon^b$ (8), где σ_{so} , b , a – постоянные коэффициенты, для конкретной марки стали

То

$$\left. \begin{aligned} \Theta &= \sigma_{so} \varepsilon_k + \frac{a}{b+1} \cdot \varepsilon_k^{b+1} \\ \Theta_j &= \sigma_{so} \varepsilon_j + \frac{a}{b+1} \cdot \varepsilon_j^{b+1} \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

Подставим (9) в (7)

$$\Pi_j = \frac{1}{2} \cdot \frac{\sigma_{so} \varepsilon_j + \frac{a}{b+1} \cdot \varepsilon_j^{b+1}}{\sigma_{so} \varepsilon_k + \frac{a}{b+1} \cdot \varepsilon_k^{b+1}} \cdot \left(1 + \frac{h_k}{h_j} \right) \quad (10)$$

$$\text{где } \varepsilon_j = \frac{H_0 - h_j}{H_0}; \quad \varepsilon_k = \frac{H_0 - h_k}{H_0}.$$

(Π_j – вычисляем не в каждом проходе, а суммарное за все проходы)

Так для марки 12x18н10т в (8) будет $\sigma_{so} = 32$; $a = 3.2$; $b = 0.84$

Вычислим Π_j для толщины начиная с $H_0 = 2.5$ мм до $h_k = 0.8$ мм с интервалом 0.1 мм (табл.)

$h_{1, \text{ мм}}$	ε_j	Π_j
2.2	12	0.0035
2.7	16	0.0056
2.0	20	0.081
1.9	24	0.112
1.8	28	0.148
1.7	32	0.189
1.6	36	0.237
1.5	40	0.292
1.4	44	0.355
1.3	48	0.427
1.2	52	0.504
1.1	56	0.604
1.0	60	0.714
0.8	64	0.84
0.9	68	1

В каждом проходе максимальное и минимальное значение мощности и момента прокатки постоянно, на основании этого примем относительный коэффициент энергоемкости между проходами ($\Delta\Pi$) величина постоянная. Т.е. $\Pi_{\Sigma} = n \cdot \Delta\Pi = 1$ отсюда число проходов $n = 1/\Delta\Pi$

$\Delta\Pi$ – найдем задав обжатие Δh в первом проходе из каких – либо соображений. Например для заданных условий прокатки и полученной таблицы зададим

$\Delta h_1 = 0.5$ мм, $h_1 = 20$ мм, $\Pi_1 = 0.081$, $\Delta\Pi_1 = \Pi_1 - \Pi_0 = 0.081 - 0 = 0.081$; $n = 1/\Delta\Pi = 1/0.081 = 12.3$

примем $n = 12$ и уточним $\Delta\Pi = 1/12 = 0.083$

Для каждого прохода вычислим Π ; $\Pi_i = \Delta\Pi \cdot n$

$\Pi_1 = 0.083$

$\Pi_2 = 0.116$

$\Pi_3 = 0.249$

$\Pi_4 = 0.332$

.

.

.

$\Pi_{12} = 1$

По таблице выбираем h_i и вычисляем $\Delta h_i = h_{i-1} - h_i$

Кроме названных методов расчета следует обратить внимание на метод расчета по предельным углам захвата, по прочности валков (лучше в виде ограничения) расчет по кривым удельного расхода энергии.

5.6. Прокатка с задачей раската на угол

5.7. Расчет температурных и скоростных режимов

5.8. Расчет энергосиловых параметров

5.9. Профилировка валков листовых станов

6. Вальцетокарное производство

Расчет калибровки любого профиля заканчивается вычерчиванием калибров по проходам, а при установке кантующей арматуры – дополнительным вычерчиванием калибров кантующих роликов или кантующих валков. Конечной стадией калибровки является расточка прокатных валков, кантующих роликов и валков.

Расточка прокатных валков осуществляется по шаблонам. Различают половинные, ручьевые, одинарные и цельные шаблоны, парные и шаговые шаблоны.

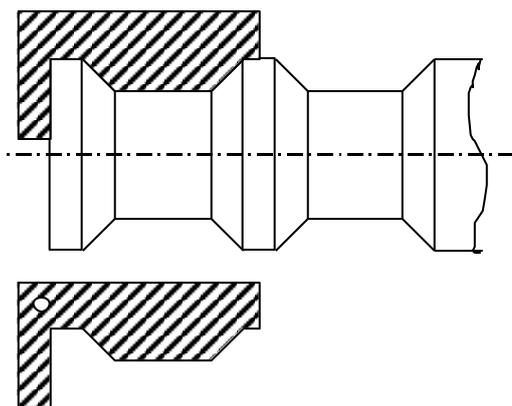


Рис. 1. Шаблон.

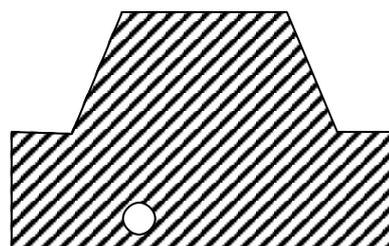


Рис. 2. Шаблон.

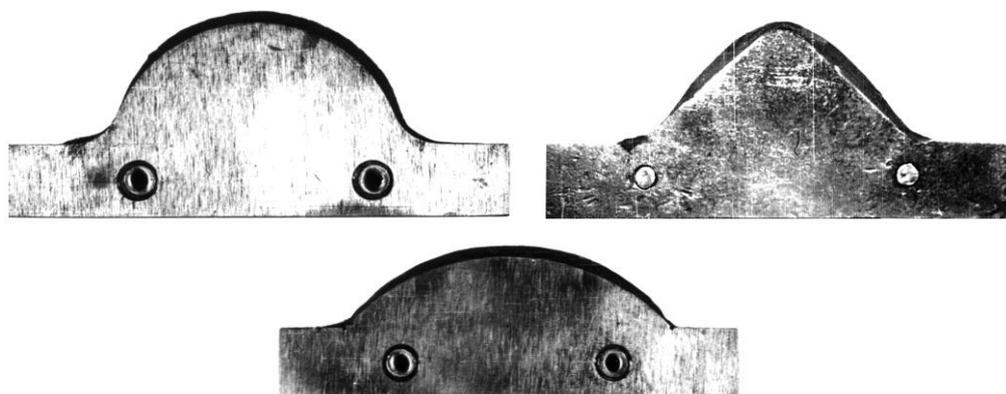


Рис. 2 а. Фотографии шаблонов.

Одинарные ручьевые шаблоны соответствуют конфигурации верхнего или нижнего ручьев данного калибра и используются для контроля открытых калибров (половинные или ручьевые шаблоны, рис. 2, рис.2 а). Для контроля расточки закрытых калибров, а также тех открытых калибров, положение ручьев которых строго фиксируется (для контроля настройки валков) используются цельные шаблоны по форме всего калибра (рис. 3 а, б, в).

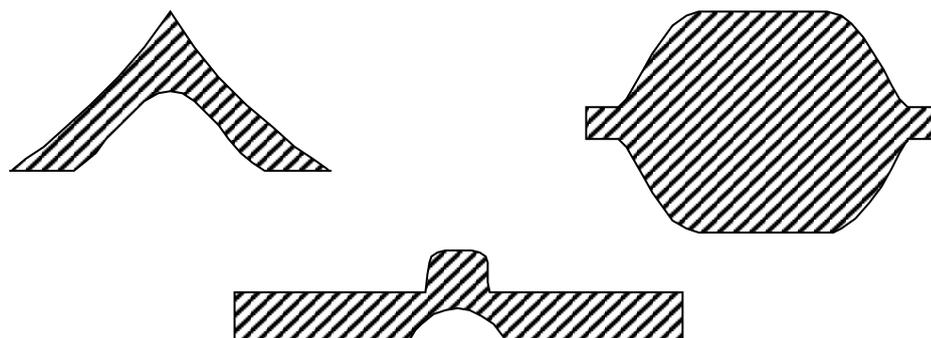


Рис. 3 а, б, в. Цельные шаблоны.

Врез ручьев на бочке каждого валка начинается с вреза первого крайнего калибра (рис. 1). Врез остальных ручьев на бочке валка осуществляется с применением шаговых шаблонов (рис. 4).

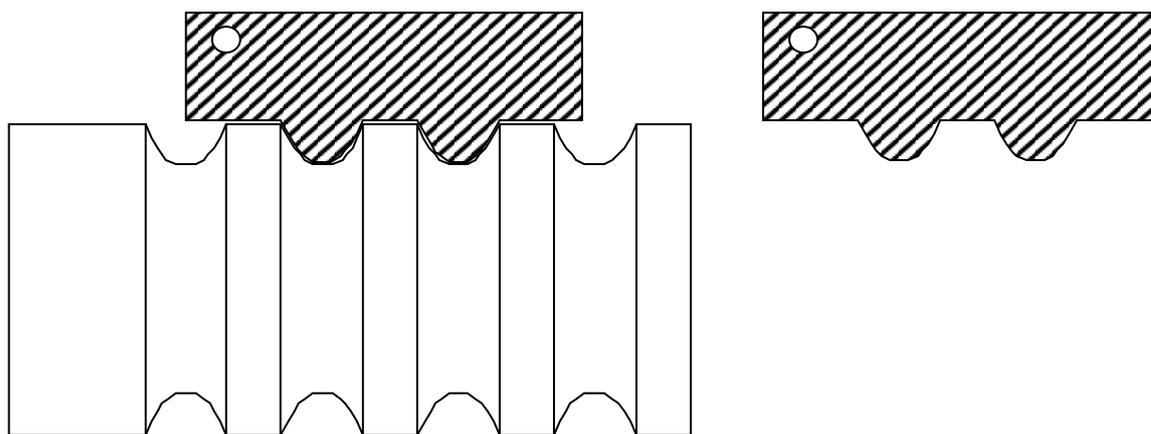


Рис. 4. Шаговый шаблон.

Особое внимание должно быть уделено врезу ручьев в чистовые валки. Поэтому для чистовых валков в зависимости от сложности профиля изготавливают несколько шаблонов (рис. 5).



Рис. 4. Шаблоны для верхнего и нижнего ручьев угловой стали.

Так как шаблоны в процессе эксплуатации изнашиваются, то для проверки их размеров к каждому из них обязательно изготавливается контршаблон. Контршаблоны служат и для заточки резцов (рис. 5).

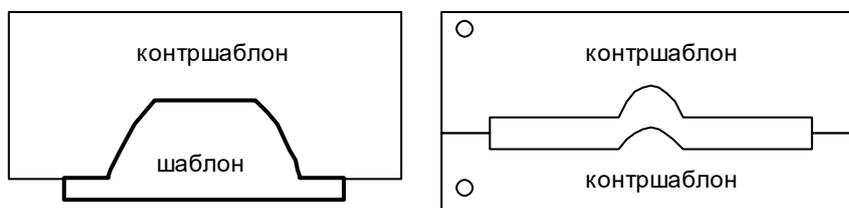


Рис. 5. Контршаблоны.

В качестве инструментов, применяемых в вальцетокарном производстве, используют резцы. Форма резцов определяется как конфигурацией элемента калибра, который врезает в валок, так и их назначением (проходные резцы, прорезные, отрезные, галтельные).

В настоящее время находят широкое применение резцы, оснащенные пластинами твердого сплава. Пластина фасонной формы может быть получена при спекании порошков или заточена после припаивания её к резцу.

В качестве заключительной операции все чаще применяют обработку ручьев абразивными кругами. При этом значительно увеличивается стойкость калибров против износа.

Используется также обкатка ручьев, накатка их и последующая их термообработка, фрикционное упрочнение (рис.6) для увеличения стойкости валков.

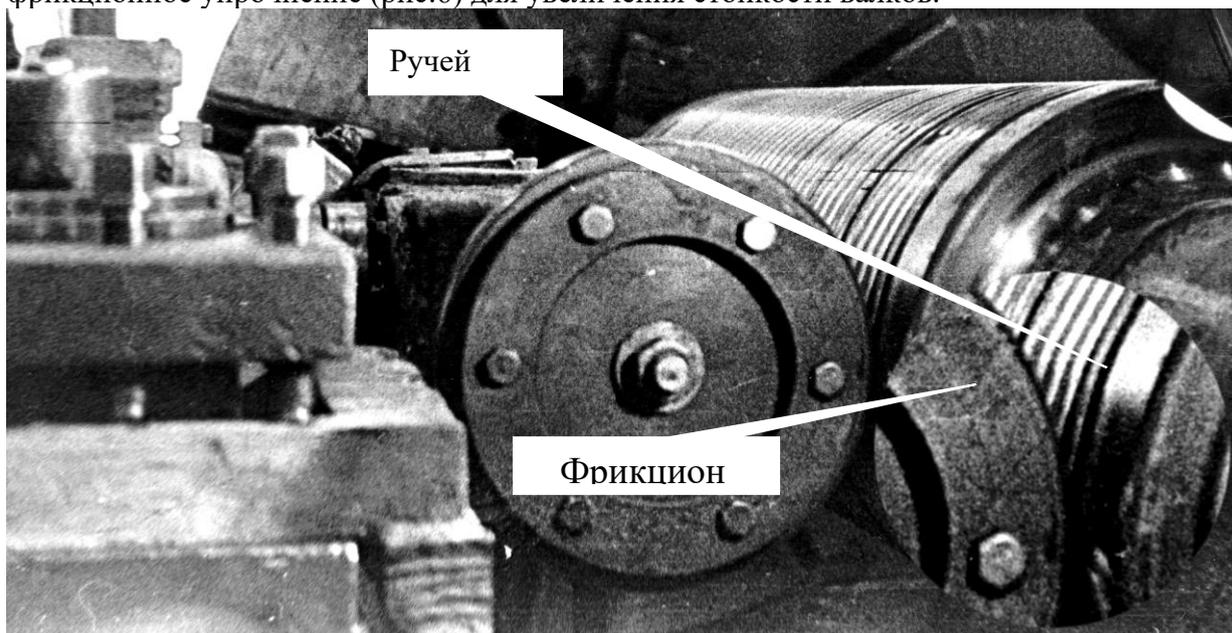


Рис. 6. Фрикционное упрочнение валка на станке.

Вальцетокарные мастерские могут быть расположены на станах. На некоторых металлургических заводах имеются централизованные вальцетокарные мастерские.

7. Автоматизированное проектирование калибровки

8. Калибровка валков обжимных станов

Краткая характеристика современных блюмингов

Блюминги предназначены для получения заготовок квадратного (блюда) и прямоугольного сечения (сляба) из слитков.

Блюда имеют размеры от 140x140 до 450x450 мм., слябы: ширина 600...1500 мм., толщина – 100...250 мм.

По конструкции блюминги могут быть реверсивные дуо, трио и непрерывные. Наибольшее распространение получили блюминги реверсивные дуо, которые могут быть следующих типов:

- 1) большие блюминги с валками диаметром 1300...1500 мм.;
- 2) средние 1000...1200 мм.
- 3) Малые 800...900 мм.

Мощным является блюминг 1300 УЗТМ, на таком блюминге прокатываются слитки до 14 тонн и в сечении 350x350 мм. Валки блюминга приводятся от двух двигателей по 6800 квт., производительность 5...6 млн. тонн слитков в год. В настоящее время блюминги реконструируются и унифицируются.

Средний блюминг 1000 установлен на ?????????? металлургическом заводе.

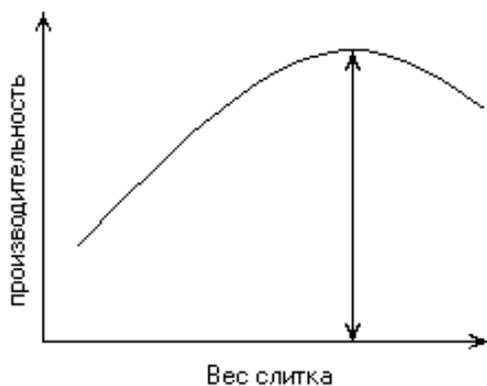
Малые блюминги часто применяют для прокатки качественных сталей он входят в состав рельсобалочных, крупносортовых трубозаготовочных станов в качестве обжимных клетей, на которых производится дальнейшее обжатие блюмов, поступающих от большого блюминга. Иногда блюминг 900 устанавливают за большим блюмингом, в этом случае он работает как заготовочный стан. Например, стан 800 (ЧМК) после блюминга 1180.

Выбор формы и размеров слитка.

Применяемые слитки бывают двух типов:

- 1) слитки из спокойной стали, уширенные кверху прибыльными надставками. Для удобства извлечения из изложниц имеют уклон 3...5 %.
- 2) Слитки из кипящей стали, как правило, уширенные к низу.

Производительность блюмингов тесно связана с развесом слитков. Положение максимума зависит от целого ряда факторов и в первую очередь от диаметра валков и мощности двигателя. Для малых блюмингов оптимальный развес слитка 3...5 тонн; для средних 6...8 тонн; для больших 12.5 тонн.



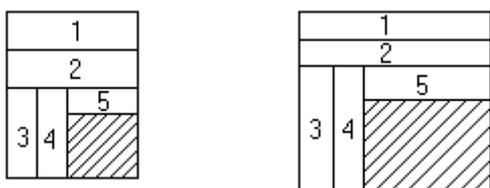
Большой развес слитка не желателен ещё и потому, что трудно оперировать с длинными полосами. С увеличением размеров поперечного сечения слитка уменьшается относительная глубина проникновения деформаций в первых пропусках, что приводит к появлению внутренних

напряжений и может вызвать нарушение сплошности.

Увеличение развеса слитков за счёт увеличения их высоты (при постоянном сечении) даёт повышение производительности, однако оно сравнительно не велико, так как при этом увеличивается машинное время.

Несравненно большее влияние на повышение производительности блюминга оказывает увеличение конечного сечения блюма. Поэтому желательно на блюминге получать наибольшее сечение, учитывая возможность прокатки на заготовочных станах. Таким образом, наиболее целесообразно увеличивать сечение блюма при сохранении развеса слитка.

Число проходов на блюминге колеблется от 9 до 17, но всегда является нечётным. Для обеспечения одинаковых обжатий слитка по толщине и ширине при прокатке блюмов квадратного сечения применяют прямоугольные слитки с разницей сторон, равной примерно среднему обжатию. Прямоугольные блюмы прокатывают из слитков

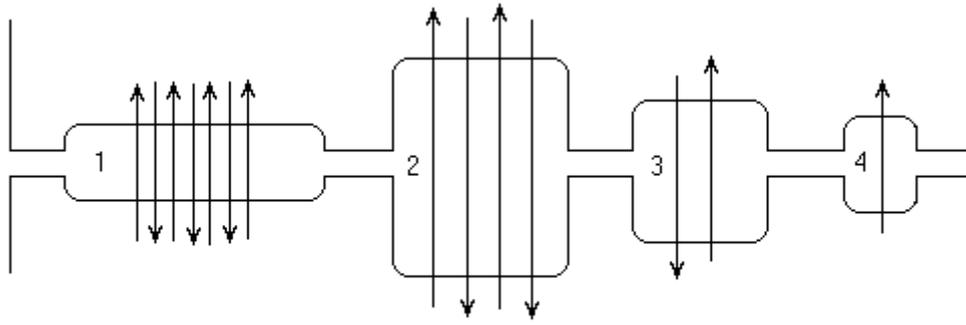


квадратного сечения.

Схема прокатки на блюминге.

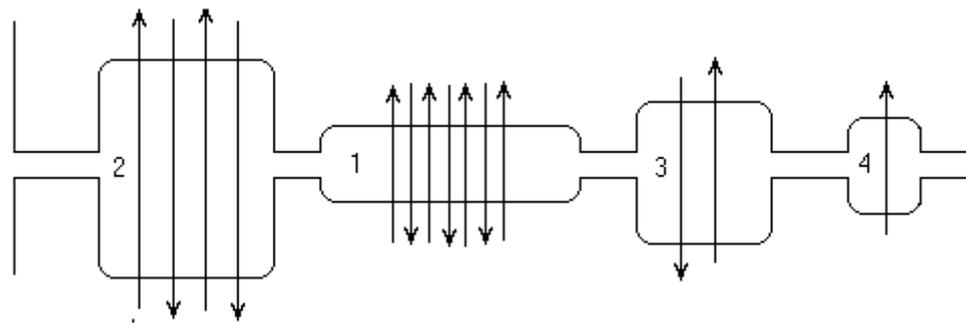
Валки блюминга имеют от 3 до 5 прямоугольных калибров. Поднимая или опуская верхний валок, можно получить разную высоту калибра, в каждом калибре делается несколько проходов. Если блюминг обслуживает рельсобалочный стан, то последний калибр фасонный (например, разрезной).

Первый калибр блюминга называется бочкой, так как его делают широким с небольшим врезом, чтобы прокатывать на нём слябы. Если слябы не прокатываются, то первый калибр делают высотой до 200 ...220 мм. Возможны две схемы расположения калибров на валках: 1. последовательные, калибры располагают по ходу прокатки.



Преимущество: раскат перемещается в одном направлении, и поэтому паузы получаются меньшими. Однако при этом нагрузка на подшипники неравномерная, возможно попадание на (левый) подшипник окарины.

2. симметричное, первый калибр (бочка) располагается посередине валка.



Преимущество: более равномерная нагрузка на подшипники. Симметричное расположение калибров наиболее целесообразно при прокатке слэбов.

Чтобы обжимать поочерёдно одну и другую стороны слитка его кантуют. Кантовку производят через два, четыре, и даже шесть проходов в зависимости от качества металла (образование трещин), соотношения размеров раската (устойчивость), калибра. Чем меньше кантовок, тем выше производительность, хотя это нередко приводит к снижению качества проката.

Так как каждый последующий калибр уже предыдущего, при задаче раската в следующий калибр обычно делают кантовку (высота калибров примерно одинакова).

В первом калибре рекомендуется делать кантовку после двух проходов, особенно при прокатке ответственных марок сталей, например рельсовой и трубной заготовки. Допускается при прокатке рядовых сталей делать кантовку после четырёх и даже шести проходов.

Во втором калибре кантовка делается после двух, четырёх проходов.

Чтобы не было ромбичности полосы необходимо делать кантовку, если $b/h = 1.3 \dots 1.2$ и следующий проход на бочке или если следующий проход в ящичном калибре, то отношение b/h может достигать $1.7 \dots 1.8$ до 2 .

Общее количество проходов зависит от размеров конечного сечения блюма. (9...17). Калибры 3, 4, 5 являются выпускными. В первом калибре делается 6, 8 проходов, во втором 4 прохода. Перспективным является применение двух слитковой задачи. Повышается производительность за счет сокращения пауз и увеличения скорости прокатки.

Углы захвата при прокатке на блюминге.

Лимитирующим фактором при прокатке на блюминге являются углы захвата. Что касается мощности привода и прочности валков, то всегда можно сделать проверочный расчет.

Для рядовых марок сталей угол захвата при средних обжатиях составляет $25 \dots 28^\circ$, для специальных марок сталей $24 \dots 25^\circ$.

При уточнении обжатий по отдельным проходам необходимо исходить из углов захвата в зависимости от размеров калибра, состояния их поверхности и скорости прокатки. В отдельных проходах $\alpha_0=32\dots34^\circ$, это возможно при применении калибров с насечкой. Определение углов захвата в зависимости от вида калибра и скорости прокатки можно производить, исходя из данных В. А. Тягунова. (таб. 10, стр. 69 Чекмарев)

Вид калибра	Углы захвата ($^\circ$) при скорости (м./с.)								
	0*	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0
<i>Гладкая бочка</i>	25,5	24,5	23,5	22,5	19,5	16	12,5	-	-
Стесненный калибр	29,0	27,5	26,0	24,5	21	17	13	-	-
Калибры с насечкой	33	32	31	30	28	26	24	21	20

0* -когда захват полосы в момент начала вращения.

Как видно, на гладкой бочке углы захвата меньше средних. Обычно поступают следующим образом. После выбора обжатий по среднему углу захвата увеличивается обжатие в проходах, где снимается конусность слитка, то есть в первом проходе и после первой кантовки, при этом соответственно снизятся обжатия для остальных проходов в калибре 1.

Уширение при прокатке на блюминге.

При прокатке на блюминге происходит неравномерная деформация по высоте, в результате чего и уширение по высоте раската распределяется неравномерно. Как показали исследования:

При $h_0/l = 1.8\dots1.3$ –уширение по высоте примерно равномерное

$h_0/l > 2$ –получается двойное бочкообразование

$h_0/l < 1$ –одинарное бочкообразование.

Показатель уширения $\Delta b/\Delta h$ также зависит от отношения h_0/l . Чем больше h_0/l тем больше показатель уширения. Так, например, при $h_0/l \approx 5$ показатель уширения у контактной поверхности составляет $\Delta b/\Delta h \approx 0.5$, а при $h_0/l \approx 1.8$, получается уширение с показателем уширения $\Delta b/\Delta h \approx 0.3$.

Среднее уширение при прокатке на блюминге можно определять по формулам, полученным для гладкой бочки (для калибра 1).в остальных калибрах прокатку ведут со стесненным уширением (защемлением), в это случае уширение составляет 70 ... 80 % от свободного уширения.

Следует иметь ввиду, что на блюмингах размеры округляют до 5 мм.

Обычно уширение по проходам определяют следующим образом.

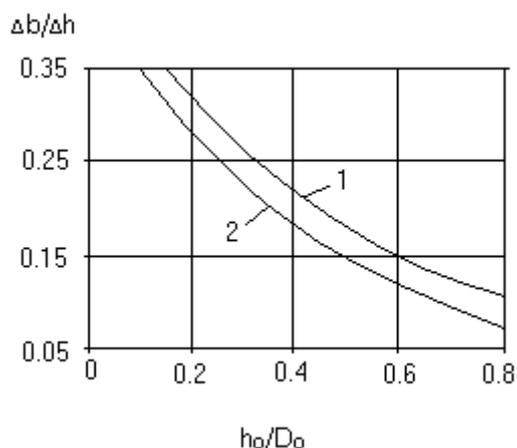
В первом проходе и в проходе после первой кантовки уширения будут равны нулю. В остальных проходах Δb считают по формуле:

$$\Delta b = c \cdot \Delta h,$$

где c – показатель уширения.

Показатель C можно принимать по графику (см рис. 26 с.37 [4]).

Уширение можно оценить и по кривым, построенным по формуле А. Ф. Головина (см. рис 26 с.37 [4]).



Уширение в каждом проходе также определяется по формулам Б. П. Бахтинова:
 При отношении $h_0/b_0 \leq 1$

$$\Delta b = 1.15 \cdot \frac{\Delta h}{2 \cdot h_0} \left(\sqrt{R \cdot \Delta h} - \frac{\Delta h}{2 \cdot f} \right);$$

при отношении $h_0/b_0 \geq 1$

$$\Delta b = 1.15 \cdot \frac{\Delta h}{2 \cdot h_0} \left(\sqrt{R \cdot \Delta h} - \frac{\Delta h}{2 \cdot f} \right) \cdot \left[1 + \left(h_1 + 0.5 \cdot \Delta h - f \cdot \frac{\sqrt{R \cdot \Delta h}}{D} \right) \right];$$

где h_0, h_1 – высота полосы до и после прокатки.

R -катающий радиус валков

b_0 -начальная ширина полосы.

f – коэффициент трения.

Можно так: в первых двух проходах уширение не считают, а принимают равным по 5 мм.

При составлении предварительной схемы обжатия Δb принимают в 3...5 проходах

$\Delta b = (0.08 \dots 0.1) \cdot \Delta h$, в последних проходах $\Delta b = (0.2 \dots 0.3) \cdot \Delta h$, среднее $\Delta b = 0.15 \cdot \Delta h$.

При прокатке в калибре 1 (гладкая бочка) возможно двойное бочкообразование боковых граней раската, что приводит к увеличению углов захвата после кантовки (в последующем калибре 2). Поэтому при прокатке на гладкой бочке следует принимать меньшие углы захвата, чем в остальных калибрах, в которых прокатку ведут с защемлением, и уширение по высоте раската развивается примерно равномерно.

Методика расчета режима обжатий на блюминге.

Мощность двигателя при прокатке на большом блюминге не является лимитирующим фактором и обеспечивает прокатку с максимально допустимыми обжатиями.

Методы рационального использования мощности двигателя блюминга:

Увеличение скорости двигателя с применением средних обжатий. За счет сокращения машинного времени повышается производительность.

Другой метод- увеличение обжатия при сокращении числа оборотов валков. Повышение производительности достигается за счет сокращения числа проходов.

В случае прокатки на блюминге широких слябов, исходя из прочности валков, выбирают режимы обжатия меньше допустимых по углу захвата.

Известно, что литой металл имеет меньшую пластичность, чем металл прошедший обработку. Особенно заметна эта разница в слитках из твердых сталей, имеющих более крупное зерно и поэтому более подверженных образованию трещин. Поэтому при прокатке легированных и высокоуглеродистых сталей снижение обжатий в первых проходах достигает

10 – 20 %. Расчет режима обжатий на блюминге производят по допустимым углам захвата.

Общий порядок расчета следующий:

1. Устанавливаем исходные данные.
2. Определяем величину максимального обжатия за проход по формуле

$$\Delta h_{\text{макс}} = \frac{D_{bc}}{2} \cdot \alpha_0^2 \quad \text{или} \quad \Delta h_{\text{макс}} = D_{bc} \left(1 - \frac{1}{\sqrt{1+f^2}} \right)$$

Чаще всего максимальный угол захвата принимают для всех случаев прокатки, с насечкой или наваркой, равным 0.5 радиан.

Диаметр валков, с учетом уменьшения диаметра валков при переточке на 10%, будет равен

$$D_{bc} = 0.9 \cdot D_0 - h_{kc},$$

Где h_{kc} - высота калибра.

D_0 - номинальный диаметр валков.

3. при расчете блюминга предварительно находят h_{kcp}

$$h_{kcp} = \sum_{i=1}^n \frac{h_k i}{n}$$

на основе практических данных калибровок валков. Для чего определяют ориентировочное число калибров, в которых будет производиться прокатка, и их размеры, исходя из того, будут ли прокатываться только блюмы, или намечается также прокатка слябов. Иногда можно ориентировочно принять $h_{kc} \approx 200$ мм.

4. среднее обжатие за проход принимаем равным:

$$\Delta h_{cp} = (0.8 \div 0.9) \cdot \Delta h_{\text{макс}}$$

причем меньшее среднее обжатие принимают для автоматизированных блюмингов. Среднее обжатие можно найти и по формуле:

$$\Delta h_c = D_{ec} \cdot (1 - \cos \alpha_{oc}) \cong (0.09 \div 0.10) \cdot D_{ec}$$

Средними допускаемыми углами захвата задаемся, исходя из марки стали и данных передовых заводов.

5. находим суммарное обжатие по одной и другой сторонам раската для максимальных размеров слитка.

$$\begin{aligned} \sum \Delta h_n &= h_0 - h_n + k \cdot (b_0 - b_n) \\ \sum \Delta h_B &= b_0 - b_n + k \cdot (h_0 - h_n) \\ k &= 0.1 \dots 0.25 \end{aligned}$$

Второе слагаемое учитывает суммарное уширение раската по одной и другой сторонам, которое необходимо обжимать дополнительно.

6*. Находим число проходов для каждой стороны:

$$n_H = \frac{\sum \Delta h_H}{\Delta h_B}; \quad n_B = \frac{\sum \Delta h_B}{\Delta h_H}; \quad n = n_H + n_B$$

полученное число проходов должно быть округлено до целого и в сумме давать нечетное число. Уточняем средние обжатия по сторонам, округляя значения обжатий до 5 мм.

7. Затем распределяем обжатия по проходам. Выбираем распределение проходов по калибрам и порядок кантовок (например пользуясь данными табл.9 Чекмарева.)

Основные схемы прокатки на блюминге.

схема прокатки	калибры					всего проходов
	I (бочка)	II	III	IV	V	
1	1,2,3,4	x5,6,7,8	x9	-	-	9
2	1,2x3,4,5,6	x7,8,9,10	x11	-	-	11
3	1,2,3,4,5,6	x7,8,9,10	x11	-	-	11
4	1,2x3,4,5,6,7,8	x9,10,11,12	x13	-	-	13
5	1,2,3,4x5,6,7,8	x9,10,11,12	x13	-	-	13
6	1,2	x3,4,5,6	x7,8	x9	-	9
7	1,2,3,4	x5,6,7,8	x9,10	x11	-	11

8	1,2x3,4,5,6	x7,8,9,10	x11,12	x13	-	13
9	1,2,3,4,5,6	x7,8,9,10	x11,12	x13	-	13
10	1,2x3,4,5,6,7,8	x9,10,11,12	x13,14	x15	-	15
11	1,2,3,4x5,6,7,8	x9,10,11,12	x13,14	x15	-	15
12	1,2x3,4,5,6	x7,8,9,10	x11,12	x13,14	x15	15
13	1,2,3,4,5,6	x7,8,9,10	x11,12	x13,14	x15	15
14	1,2x3,4,5,6,7,8	x9,10,11,12	x13,14	x15,16	x17	17
15	1,2,3,4x5,6,7,8	x9,10,11,12	x13,14	x15,16	x17	17

x - кантовка.

8*. составляем предварительную таблицу режима обжатий. По принятым обжатиям, рассчитываем уширение.

9*. Корректируем полученный режим обжатий. При этом необходимо исходить из того, что можно увеличит обжатия в проходах, где снимаем конусность. В калибрах II и III обжатия могут быть увеличены до $\Delta h > \Delta h_c$, но чтобы не было превышения допустимых углов захвата, так как прокатку ведут с заземлением. Необходимо следить, чтобы не было переполнения калибров, особенно в калибрах, где делается несколько проходов без кантовки.

10. Составляем окончательный режим и данные заносим в таблицу.

Номер калибра	Номер прохода	Обжимная сторона	h_1	b_1	Δh	Δb

11. определяем α_{oi} и ЭНС.

12. построение калибров и размещение их на валках.

Динамика.

Машинное время прокатки(при трапециидальной схеме).

$$\tau_m = \tau_y + \tau_n + \tau_z$$

Здесь $\tau_y = (n_{max} - n_3)/a$; $\tau_z = (n_{max} - n_b)/b$,

Где a и b – соответственно ускорение и замедление двигателя, об./мин·с.

Время τ_n – определяется по длине раската, прокатанного за этот период. Пусть l_1 – полная длина раската после прохода, а l_y , l_n и l_z – части длины раската прокатанные за соответствующий период времени

$$\tau_n = \left(120 * \frac{l_1}{\pi * D_B} - \frac{n_{max}^2 - n_3^2}{a} - \frac{n_n^2 - n_g^2}{b} \right) / 2 * n_{max}$$

Период прокатки в одном проходе.

$$T_{пр} = \tau_p + \tau_m + \tau_o ,$$

Где $\tau_p = n_y/a$, $\tau_o = n_3/b$.

При треугольной схеме прокатки $\tau_n = 0$ и машинное время

$$\tau_m = (n_{max} - n_3) * a + (n_{max} - n_b)/b,$$

а период прокатки в одном проходе

$$T_{пр} = \tau_y + \tau_z + \tau_p + \tau_o = n_{max}/a + n_{max}/b$$

Часовая производительность блюминга

$$П = \frac{3600 * G_{сл} * K_u}{T_T}$$

где T_T – такт (ритм) прокатки слитка,

K_u – коэффициент использования стана ($K_u = 0.9 \dots 0.95$)

Такт прокатки слитка

$$T_T = \sum_1^{n_{пр}} \tau_{Mi} + \sum_1^{n_{пр}} \tau_{xi} + \tau_{нач} ,$$

Где $\sum_1^{n_{np}} \tau_{mi}$ и $\sum_1^{n_{np}} \tau_{xi}$ -соответственно сумма машинного времени и времени пауз за все время прокатки слитка (n_{np} число проходов, $\tau_{нач}$ начальная пауза между слитками)

Период прокатки слитка

$$T_n = \sum_1^{n_{np}} T_{npi} + \sum_1^m \tau_{остi} ,$$

где $\sum_1^{n_{np}}$ -сумма периодов прокатки за отдельные проходы;

\sum_1^m - сумма времени остановок двигателя в паузах с кантовками (m - число пауз с кантовками).

$T_T = T_{\Pi} + \tau_{ост}$ – связь между тактом и периодом прокатки.

Определение скоростного режима блюминга

Находим длину раската по формуле

$$L=Q/(0,97vh1b1),$$

где Q - плотность слитка;

0,97 - коэффициент учитывающий закругления;

v □□□ плотность металла.

При расчете длины раската принимаем плотность недеформированного металла равной 7 т/м^3 для слитков спокойной стали и $6,3 \text{ т/м}^3$ для кипящей стали, плотность горячедеформированного металла $7,5 \text{ т/м}^3$. Для упрощения считаем, что за первые четыре прохода слиток уплотняется равномерно до удельной плотности стали в горячедеформированном состоянии $7,5 \text{ т/м}^3$. Для стали 45 задаемся распределением плотности металла по проходам: 7,0; 7,2; 7,4; 7,5.

Возможные диаграммы скоростей прокатки на блюминге приведены на рис. 1. Выбор типа диаграммы скоростей зависит от длины раската, наличия (рис. 1, б, г, е, з) или отсутствия кантовок (рис. 1, а, в, д, ж) и характеристики двигателя. Для двигателя блюминга 1250 ускорение его со слитком в диапазоне изменения скорости 0...63 об/мин составляет $a1 = 45 \text{ об/мин} \cdot \text{с}$, в диапазоне 63...90 об/мин $a2 = 18 \text{ об/мин} \cdot \text{с}$. Замедление со слитком $b = 60 \text{ об/мин} \cdot \text{с}$. Наименьший период прокатки обеспечивают диаграммы (рис. 1,а...г) без среднего участка с постоянной скоростью прокатки. Диаграммы скоростей такого рода реализуются в первых проходах, когда длина раската еще мала.

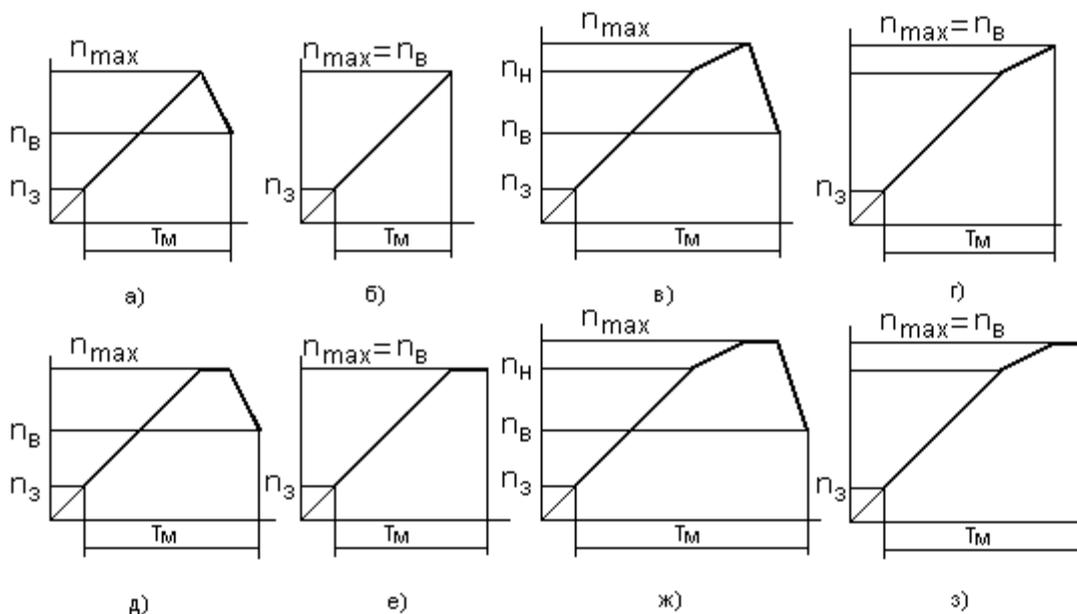


Рис. 1. Диаграммы скоростей прокатки на блюминге

Выбирая число оборотов валков при захвате n_3 , следует учитывать, что в случае слишком большой скорости прокатки захват раската будет неустойчивым. Большая скорость выброса из валков n_B также нежелательна, особенно в проходах без последующих кантовок, так как это увеличивает время пауз. Максимальная скорость прокатки n_{max} ограничивается мощностью электродвигателя (следует иметь в виду, что при $n > n_H$ допустимый крутящий момент электродвигателя снижается), а также допустимым числом оборотов.

Число оборотов валков при захвате n_3 и выбросе из валков n_B принимаем по практическим данным, считая, что в первом калибре с кантовкой и без кантовки, в промежуточных калибрах с кантовкой допустимое число оборотов валков при выбросе раската равно 63; в остальных калибрах - 70...80 в соответствии с диапазоном изменения скорости валов электродвигателей 0...63...90 об/мин (табл. 1).

Таблица 1

Рекомендуемый режим прокатки на блюминге

Калибр	n_3 , об/мин	n_B , об/мин	формулы; n_{max} , об/мин
I, без кантовки	10...15	15...20	(1); $n_{max} < 63$
I, с кантовкой	10...15	$n_B = n_{max}$	(1) или (2); $n_{max} < 63$
промежуточный, без кантовки	15...30	20...40	(3) или (4); $n_{max} < 80$
промежуточный, с кантовкой	15...30	$n_B < 63$	(3) или (4); $n_{max} < 80$
выпускной	30...40	$n_B = n_{max}$	(4); $n_{max} < 90$

Максимальное число оборотов при прокатке без кантовки для диаграммы (рис. 1, а) определяем по формуле

$$n_{max} = \sqrt[3]{a_1 * b / (a_1 + b) * (120L / (D_{в}) + n_3^2 / a_1 + n_B^2 / b)}, \quad (1)$$

при прокатке с последующей кантовкой (рис 1, б) - по формуле

$$n_{max} = \sqrt[3]{120L * a_1 / (D_{в}) + n_3^2}, \quad (2)$$

Если число оборотов валов электродвигателей больше $n_H = 63$ об/мин, то максимальное число оборотов рассчитывается для диаграммы, изображенной на рис. 1, в, по формуле

$$n_{max} = \sqrt[3]{a_2 * b / (a_2 + b) * (120L / (D_{в}) + n_H^2 / a_2 + n_B^2 / b - n_H^2 / a_1 + n_3^2 / a_1)}, \quad (3)$$

для диаграммы показанной на рис. 2, г - по формуле

$$n_{max} = \sqrt[3]{120L * a_2 / (D_{в}) + n_H^2 (1 - a_2 / a_1) + n_3^2 * a_2 / a_1}, \quad (4)$$

Если полученные максимальные числа оборотов окажутся ниже допустимых (для случаев рис. 1, а, б должно быть $n_{max} < 63$ об/мин, для случаев рис. 1, в, г - $n_{max} < 70...80$ об/мин), то диаграммы скорости прокатки выбраны правильно. Если же максимальное

число оборотов получилось больше допустимого, то принимаем трапецеидальные диаграммы скорости прокатки на блюминге (рис. 1, д...з).

Расчет энергосиловых параметров прокатки на блюминге

Энергосиловые параметры рассчитываются по ходу прокатки. Алгоритм расчета следующий.

Составляется таблица исходных данных для определения энергосиловых параметров (табл.1).

Таблица 1

Исходные данные для расчета энергосиловых параметров при прокатке блюма ...X... мм

из слитка ... т, сталь ...

| № прохода | h₀,мм | b₀,мм | h₁,мм | b₁,мм | R_v,мм | n_{max},об/мин | a,об/мин*с | □,т/маи |

Находим температуру раската в каждом проходе, приняв линейный закон ее изменения по проходам,

$$t = t_0 - (t_0 - t_n)(L - L_0)/(L_0 - L_n),$$

где t₀ - температура начала прокатки;

t_n-t₀ - общее падение температуры прокатываемого металла, составляет 60°C для прокатки за 9,11,13 проходов, 100°C - за 25,27 проходов;

L₀ - длина исходного слитка;

L_n - длина раската после прокатки на блюминге.

9. Калибровка валков заготовочных станов

Краткая характеристика современных заготовочных станов.

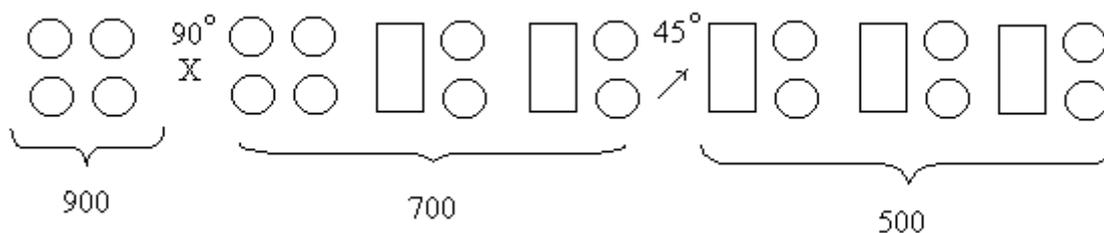
Сортовые, проволочные штрипсовые непрерывные станы работают на исходной квадратной (или плоской) заготовке сечением от 60x60 до 160x160. Есть два способа получения этих заготовок: прокатка на заготовочных станах или других агрегатах, а также непрерывным литьем заготовок на МНЛЗ. Такую заготовку прокатывать на блюмингах нецелесообразно, более выгодно прокатывать ее на заготовочных станах непрерывного или линейного типа.

НЗС располагается в одном пролете с блюмингом. Они состоят из 4-14 рабочих клеток дуо, расположенных в одной или двух непрерывных группах. Эти станы бывают двух типов: с индивидуальными приводными валками и с жесткой кинематической связью.

В последнее время построено ряд НЗС 900/700/500 (14 клеток). Вместо кантующей арматуры использовано сочетание горизонтальных и вертикальных клеток, что позволило прокатывать на них трубную заготовку и плоскую заготовку, кантовка которых затруднена.

Сортамент подобного стана включает квадратные заготовки сечением 80x80 – 170x170 или круглую сталь Ø 105, 120, 140, 150, 170 и 220 мм, плоские заготовки 100x150...400 мм из углеродистых и легированных марок сталей. Исходным материалом служат блюмы сечением 300x300 – 370x370 мм.

Кроме того установлено ряд станов 850/700/500 (12 клеток).



Расчет калибровки валков непрерывных заготовочных станов.

Исходным материалом для прокатки заготовок на современных непрерывных заготовочных станах служат блюмы сечением 300x300 – 380x380 мм и более. В связи с этим в первых клетях этих станов применяют прямоугольные калибры, которые по сравнению с квадратными и ромбическими калибрами в меньшей мере ослабляют прочность валков, что особенно важно для первых клеток. Кроме того в этих калибрах осуществляется хорошее удаление окалины и отсутствует необходимость кантовки блюма при задаче в первую клеть.

Переход от прямоугольных калибров к системе ромб – квадрат объясняется необходимостью получать заготовки более чистой квадратной формы с лучшей поверхностью.

Исходные данные для расчета: размеры блюмов и заготовок, количество клеток, диаметр валков, число оборотов валков в каждой клетке, мощность и число оборотов двигателей, допустимые Р и Мв по каждой клетке, температурный режим прокатки, марка прокатываемой стали.

Рассмотрим расчет черновых групп клеток непрерывного заготовочного стана. Расчет калибровки ведется против хода или походу прокатки при этом промежуточное сечение можно задавать, а можно не задавать. Кроме того можно считать предельные углы захвата из практических данных: в ящичных черновых группах

$$\alpha_{\max} = \begin{cases} 24^\circ \dots 26^\circ - \text{стальные валки} \\ 19^\circ \dots 22^\circ - \text{чугунные} \end{cases}$$

коэффициент трения можно принимать при $t = 1100 \dots 1200^\circ$

$$\alpha_{\max} = \begin{cases} 0.45 \dots 0.50 - \text{стальные валки} \\ 0.36 \dots 0.40 - \text{чугунные} \end{cases}$$

$$\Delta h_{\max} = \begin{cases} (0.18 \dots 0.25) R - \text{стальные валки} \\ 0.15R - \text{чугунные валки} \end{cases}$$

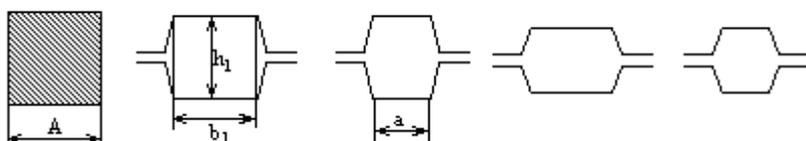
$$\lambda_\Sigma = S_o/S_n ; \lambda_{\text{cp}} = \sqrt{\lambda_\Sigma} \quad \lambda'_{\text{cp}} = A/a$$

Тогда по ходу прокатки

$$\lambda'_{\text{cp}} = \frac{A}{a} = \frac{A}{A - D_b \cdot (1 - \cos \alpha_{\max})(1 - k)}$$

против хода прокатки

$$\lambda'_{\text{cp}} = \frac{A}{a} = \frac{a + D_b \cdot (1 - \cos \alpha_{\max})(1 - k)}{a}$$



$$\Delta h_{\max} = \begin{cases} (0.18 \dots 0.25) R & \text{— стальные валки} \\ 0.15R & \text{— чугунные валки} \end{cases}$$

если $\lambda_1 = k\lambda_2$, то $A \cdot a = \sqrt{k} \cdot h_1 \cdot b_1$ задаем Δh и находим h_1 ; $b_1 = \frac{A \cdot a}{\sqrt{k} \cdot h_1}$

но проверяем, получится ли квадрат по Δb .

По методу изложенному ранее можно считать так. Если известно исходное и конечное сечение, то при расчете калибровки по системе прямоугольных калибров сначала определяют число калибров (проходов).

$$n = \frac{\Sigma \Delta h}{\Delta h_{\text{cp}}}, \text{ полученное число проходов должно быть округлено до целого (1)}$$

$\Sigma \Delta h$ – суммарное обжатие в прямоугольных калибрах определяют по формуле

$$\Sigma \Delta h = (1+k) \cdot (h_0 + b_0 - h_n - b_n)$$

K – средний показатель уширения = 1.15, тогда

$$\Sigma \Delta h = 1.15 \cdot (h_0 + b_0 - h_n - b_n) \quad (2)$$

Δh_{cp} – среднее обжатие можно принять равным 0.9 от средней величины максимальных обжатий за проход в первом и последнем калибрах.

Максимальное обжатие в каждом из этих калибров определяют из условия захвата по формуле

$$\Delta h_{i \max} = (D_{vi} \cdot \alpha_0^2) / 2 \quad (3)$$

Приняв угол захвата равным 0.5 радиан то есть

$$\Delta h_{\text{cp}} = \frac{0.9(\Delta h_{1 \max} + \Delta h_{n \max})}{2} \quad (4)$$

Для определения диаметра D_v принимают приближенное обжатие в первом калибре равное

$$\Delta h_1 = \frac{1}{15} D_0, \quad (5)$$

где D_0 – номинальный диаметр валков с учетом 10% переточки валков

$$D_{v1} = 0.9 \left[D_0 - \left(h_0 - \frac{D_0}{15} \right) \right] ; \quad (6)$$

последней клетки

$$D_{vn} = 0.9 [D_0 - h_{1n}].$$

Затем составляют режим обжатий, причем обжатие в первом калибре принимают несколько меньше среднего, учитывая колебание в размерах поперечного сечения бляма и отсутствие подпора при захвате полосы в первой клетке. Уширение при прокатке в этих калибрах можно определить по формуле:

$$\Delta b_i = c \frac{\Delta h_i}{h_{0i}} \sqrt{\Delta h_i R_{Bi}}, \quad R_{Bi} = \frac{1}{2} (0.9 D_{0i} + s_i - h_{li});$$

где c – коэффициент, равный 0,5 для первого калибра и 0.35 для остальных калибров.

В связи с тем, что прокатка на непрерывных заготовочных станах ведется с натяжением, опережение можно не учитывать, так как оно по мере уменьшения толщины полосы увеличивается, то получающееся вследствие роста опережения увеличение скорости выхода полосы можно использовать на создание натяжения между клетями.

При индивидуальном приводе каждой клетки стана с регулировкой числа оборотов расчет числа оборотов производится из формулы

$$C_n = S_{1n} \cdot D_{kn} \cdot n_{Bn}$$

При расчете калибровки непрерывных станов очень важно точно определять D_k . При прокатке в прямоугольных калибрах катающий диаметр принимаем равным диаметру валков по дну калибра.

В ромбических квадратных калибрах диаметр валков переменный: максимальный у разъема и минимальный в вершине. Катающий диаметр в этих и других калибрах может быть определен по средней приведенной высоте калибра

$$H_{cp} = F/b,$$

Где F – площадь калибра; b – ширина калибра.

Тогда катающий диаметр

$$D_k = D_o - h_{cp} = D_o - F/b = D_o + t - F/b$$

Натяжение можно создать увеличением константы по ходу прокатки на 1...2%, т.е.

$$C_{n-1} = \frac{C_n}{1.01 \dots 1.02}; \quad C_{n-2} = \frac{C_{n-1}}{1.01 \dots 1.02}.$$

Основным условием непрерывной прокатки является равенство секундных объемов металла. Особенно обязательно соблюдение этого условия на станах с групповым приводом, когда выбирают коэффициент вытяжки в соответствии соотношением скоростей прокатки. На станах с групповым приводом const. непрерывной прокатки обеспечивается соответствующей калибровкой валков, подбором их диаметров, а также размером зазоров между валками. На станах с индивидуальным приводом – за счет подбора числа оборотов двигателей. Корректировку const производят следующим образом: 1) изменением высоты полосы (обжатием); 2) изменением ширины полосы (степени ограничения уширения); 3) одновременным изменением высоты и ширины полосы; 4) увеличением начальных диаметров (уменьшение не допускается, так как ослабляются валки и увеличивается угол захвата)

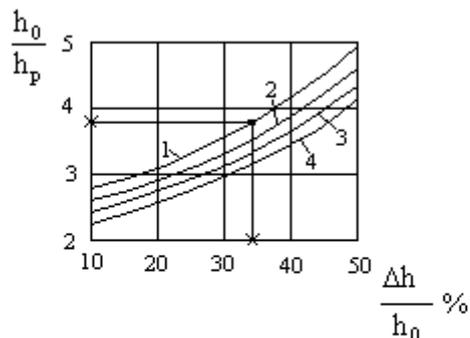
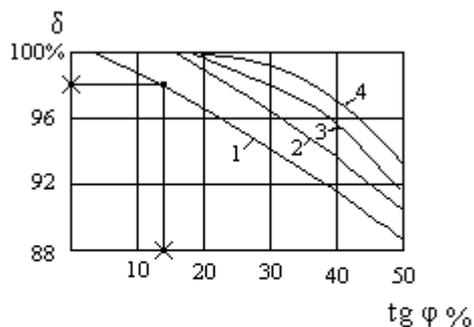
В том случае, если уменьшение высоты полосы на выходе (увеличением обжатия) приводит к превышению допустимых углов захвата, то уменьшают высоту исходного подката.

Конструирование калибров непрерывных заготовочных станов.

Обычно на валках располагается 2-5 калибров, что позволяет без перевалки прокатывать заготовки различных размеров. В последних проходах количество калибров на валках увеличивается (резервные калибры).

На НЗС рекомендуется вести прокатку с большими выпусками 15-25%. при прокатке в прямоугольных калибрах применяют обжатие в пределах 20-30%. Рекомендуется принимать $s=10-20\%$ от высоты калибра или $(0.01 \dots 0.08)D_o$. В последних калибрах зазор делается меньше, чем в первых. Ширина задаваемой полосы $b_o \approx b_B$. Степень заполнения калибра принимают в пределах $\delta = 96 - 98 \%$.

Между степенью деформации, выпуском и степенью заполнения калибра существует определенная зависимость.



$\frac{\Delta h}{h_0}$ % 1-20; 2-25; 3-30; 4-35 %

$s = 1 - 0.2 h_k$; 2- $0.15 h_k$; 3- $0.1 h_k$; 4- $0.075 h_k$.

Последовательность построения прямоугольных калибров следующая:

- 1) принимают ширину калибра по дну равной ширине задаваемой полосы;
- 2) задавая δ , в зависимости от $\Delta h/h_0$ находят выпуск калибра;
- 3) задаются величиной зазора и по графику находят глубину вреза ручья;

$$h_p = 1/2 \cdot (h_k - s), \text{ так как } h_k = 2 \cdot h_p + s$$

- 4) определяют ширину калибра по разъему валков

$$b_k = b_B + 2 \cdot h_p \cdot \text{tg } \varphi;$$

- 5) радиусы закруглений калибра принимают равными:

$$r = (0.12 \dots 0.20) \cdot b_B; r_1 \leq r \text{ или } r_1 = (0.08 \dots 0.12) \cdot b_B;$$

в чистовом проходе в соответствии с ГОСТ 4693 -57

- 6) стрелу выпуклости дна калибра принимают, равной 1-5 мм.

- 7) $\Delta D = 0$

Уклон боковых стенок ящичных калибров, из которых товарную или передельную заготовку, делают небольшим (4-10 %). Этим предотвращается выпучивание заготовок при нагреве в печах сортопрокатных станов.

В системе ромб – квадрат

$$s = (0.01 \dots 0.02) \cdot D_0$$

$$r \approx (0.15 \dots 0.2) h_p \text{ – квадратных калибров}$$

$$r' = (0.08 \dots 0.2) b_k$$

Радиус закругления при вершине ромбического калибра принимают равным радиусу

закругления задаваемого в калибр квадратного раската.

Радиус закругления квадратных калибров, выпускающих товарную заготовку, выбирают в соответствии с ГОСТ.

Пример расчета режимов обжатия на заготовочных станках.

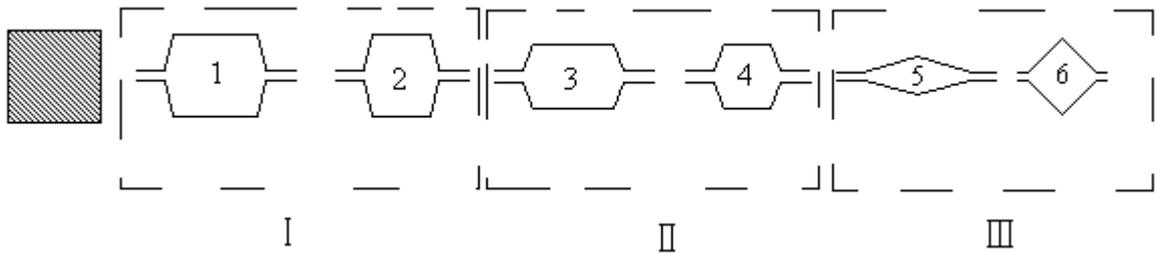
Рассчитать режимы обжатия и калибровку для прокатки квадратного сечения

120x120 мм, считая, что величины обжатия являются предельными. Стан 6-ти

клетевой, непрерывный.

Принимаем $\lambda_{\text{ср}}$ от квадрата к квадрату. (Дломидов – табл. 2 с. 30 или с. 27)

Первые 4 прохода (по ходу прокатки) – система прямоугольных ящичных калибров. Последние проходы ромб – квадрат.



Примем $\lambda_{I\text{cp}} = 1.33$; $\lambda_{II\text{cp}} = 1.35$ $\lambda_{III\text{cp}} = 1.3$
 (это средние λ в этих парах калибров)

Тогда стороны квадратов

$$a_4 = a_6 \cdot \lambda_{II\text{cp}} = 120 \cdot 1.3 = 156 \text{ мм}$$

$$a_2 = a_4 \cdot \lambda_{I\text{cp}} = 156 \cdot 1.35 = 210 \text{ мм}$$

$$\lambda_{\Sigma} = a_4^2 / a_6^2 ; \lambda_{\text{cp}} = a_4 / a_6.$$

Если задать $\lambda_{\text{cp}} = 1.32$ от заготовки к квадрату со стороной a_2 , то сторона исходной квадратной заготовки

$$A = 1.32 \cdot a_2 = 1.32 \cdot 210 = 277 \approx 280 \text{ мм}$$

Варьируя $\lambda_{i\text{cp}}$, выходим на хорошую заготовку. $A = 280$ мм. Определяем размеры промежуточных сечений. Так как размеры квадратных сечений известны то можно расчет вести по ходу прокатки и против хода прокатки. (по методике УПИ).

Рассчитать размеры прямоугольного сечения в I клетки. По равенству вытяжек $\lambda_1 = \lambda_2$ имеем $b_1 h_1 = A a = 280 \cdot 210 = 58800 \text{ мм}^2$.

$$\left. \begin{aligned} \lambda_1 &= \frac{A^2}{h_1 b_1} \\ \lambda_2 &= \frac{h_1 b_1}{a^2} \end{aligned} \right\} \lambda_1 = \lambda_2 \Rightarrow h_1 b_1 = A a$$

Задаем обжатие в I клетки (из практики)

$$\Delta h_1 = 84 \text{ мм (из условия } \alpha_{0\text{ макс}})$$

Тогда

$$h_1 = A - \Delta h_1 = 280 - 84 = 96 \text{ мм}$$

ширина раската

$$b_1 = A a / h_1 = 58800 / 96 \approx 300 \text{ мм.}$$

Можно через Δb . Найдем по формуле Δb .

$$\Delta b = 0.35 \cdot \frac{\Delta h}{h_0} \sqrt{\Delta h \cdot R_k} = 0.35 \cdot \frac{84}{277} \sqrt{84 \cdot 345} = 18 \text{ мм.}$$

$$R_k = R_B = \frac{D_0 - h_1}{2}$$

$$D_0 = 900 \text{ мм}$$

Тогда ширина раскат в первом проходе

$$b_1 = A + \Delta b_1 = 280 + 18 = 298 \text{ мм} \approx 300 \text{ мм.}$$

На этом расчет первого раската в калибре закончен. Однако возможно, что при проверке Δb во 2 клетки будет необходимость в пересчете.

Проверим возможность получения квадрата во второй клетки. Имеем $a_2 = 210$ мм. Кантовка здесь.

$$\Delta h_2 = b_1 - a_2 = 298 - 210 = 88 \text{ мм}$$

При этом обжатии уширение

$$\Delta b_2 = 0.35 \cdot \frac{\Delta h_2}{H_2} \cdot \sqrt{\Delta h_2 \cdot R_{k2}}$$

Но R_{k2} не известен. Будем считать $f = 0.52$.

Тогда

$$R_{k2} = 88 / 0.243 = 350 \text{ мм.} \Rightarrow D_k = 700 \text{ мм.}$$

$$\text{Уширение } \Delta b_2 = 0.35 \cdot \frac{88}{295} \cdot \sqrt{88 \cdot 345} = 14.1 \text{ мм}$$

Следовательно, ширина раската во втором калибре

$$b_2 = a_2 = 196 + 14.1 = 210.1 \text{ мм} \approx 210 \text{ мм}$$

Таким образом, расчетными размерами раската являются

$$b_1 \cdot h_1 = 298 \cdot 196 \text{ мм} - \text{ первая клеть}$$

$$\text{и } a_2 = 210 \text{ мм} - \text{ вторая клеть}$$

Аналогично считаем и вторую пару калибров \Rightarrow определяем $b_3 h_3$ с последующей проверкой получения квадрата со стороной a_4 . Исходными теперь будут $a_2 = 210$ мм и $a_4 = 156$ мм.

Расчет ромбического калибра (пятая клеть)

Имеем исходные размеры : $a_4 = 156$ мм и $a_6 = 120$ мм.

Размеры ромбического калибра (эмпирические зависимости) общая высота ромба $h = (1 \dots 1.02) A = (1.26 \dots 1.28) a$ ширина ромба по разьему

$$b = (1.45 \dots 1.5) A = (1.8 \dots 1.9) a \text{ радиус в вершине ромба } r = (0.15 \dots 0.2) A.$$

Зазор $s = (0.1 \dots 0.3) h$.

Тогда

$$b_5 = 1.5 \cdot a_4 = 1.5 \cdot 156 = 234 \text{ мм.}$$

$$h_5 = 1.0 \cdot a_4 = 156 \text{ мм.}$$

$$r_5 = 0.15 a_4 = 0.15 \cdot 156 = 25 \text{ мм.}$$

$$\Delta h_5 = 1.41 a_4 - h_5 = 63.96 \approx 64 \text{ мм.}$$

$$\Delta b_5 = b_5 - 1.41 a_4 = 14 \text{ мм.}$$

$$S = 0.13 \cdot h_5 = 0.13 \cdot 156 \approx 20 \text{ мм.}$$

$$\Delta h_6 = b_5 - 1.41 a_6 = 64.8 \text{ мм.}$$

$$\Delta b_6 = 1.41 a_6 - h_5 = 63.96 \approx 13.2 \text{ мм.}$$

Можно так:

Δb_{KB6} и λ_{6c} из Чекмарева с. 109...110 рис. 54 и 57

$$h_p = 1.41 \cdot a_6 - \Delta b_{KB6}; S_p = S_{KB6} \cdot \lambda_{6c}$$

$$b_p = \frac{2 \cdot S_p}{h_p}$$

Так по рис. 54 при $a_5 = 120$ мм $D = 800$ мм и $\lambda_{6c} = 1.3$; $\Delta b = 16$ мм.

Тогда

$$h_p = 1.41 \cdot 120 - 16 = 153 \text{ мм.}$$

$$S_p = S_6 \cdot \lambda_{6c} = 0.97 \cdot 120^2 \cdot 1.3 = 18158.4 \text{ мм}^2$$

$$b_p = \frac{2 \cdot S_p}{h_p} = 237 \text{ мм.}$$

Или по методике УПИ.

Калибровка валков заготовочных станов трио

Различают заготовочные станы трио и обжимные клетки трио, работающие в составе сортопрокатных станов. Эти станы применяют на старых заводах и на заводах качественных сталей.

Исходным подкатом служат блюмы небольшого развеса или слитки (0,8-2,0 т.).

Обычно заготовочный стан трио состоит из 1-3 клеток. Клетки расположены в одну линию с приводом от общего двигателя. Валки не имеют вертикального перемещения поэтому в каждом калибре делают один проход.

В заготовочных станах применяют калибры:

- прямоугольные,
- ромбические,
- квадратные.

В обжимных клетях трио применяют также:

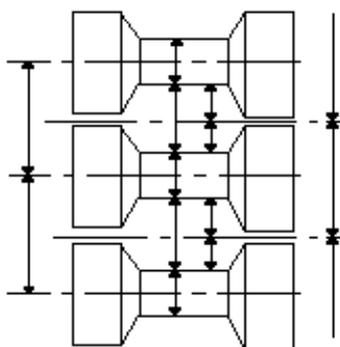
- стрельчатые,
- овальные калибры.

Специализированные трубозаготовочные станы трио имеют:

- прямоугольные,
- плоские овальные,
- круглые калибры.

В зависимости от расположения на валка прямоугольные калибры делят на два типа:

- сопряженные (связанные),
- несопряженные (не связанные).



Несопряженные калибры рассчитывают по описанной методике конструирования ящичных калибров блюмингов и НЗС.

Методика расчета сопряженных калибров имеет некоторые особенности.

Порядок прокатки исходной заготовки или слитка следующий. Первые (нечетные) проходы делаются в нижнем калибре. Затем раскат передается, без кантовки, в верхний калибр. После этого раскат кантуется на 90° и задается в следующий, нижний калибр, а затем опять без кантовки - в следующий верхний калибр.

Существенным недостатком клеток трио является значительная разница диаметров валков, следствием которого является изгиб полосы.

Определим условия, при которых разность диаметров будет минимальной.

$$D1 = D_{в.ср}/2 + D_{в1}/2 + h1 \quad (1)$$

$$D2 = D_{в.ср}/2 + D_{в2}/2 + h2 \quad (2)$$

Вычитаем из (2) (1)

$$D2 - D1 = D_{в.ср}/2 + D_{в2}/2 + h2 - D_{в.ср}/2 - D_{в1}/2 - h1$$

Или

$$D2 - D1 - h2 + h1 = D_{в.ср}/2 + D_{в2}/2 - D_{в.ср}/2 - D_{в1}/2$$

□ $D2 = D_{в2} - D_{в.ср}$ - давление для верхней пары валков;

□ $D1 = D_{в.ср} - D_{в1}$ - давление для нижней пары валков;

В обоих случаях давление верхнее:

$$\Delta D = \Delta D1 + \Delta D2 = 2(D_{в1} - D_{в2}) + 2(h1 - h2)$$

Таким образом, сумма верхних давлений для сопряженных калибров равняется, удвоенной разности средних диаметров каждой пары валков плюс удвоенное абсолютное

обжатие при подаче полосы из нижнего калибра в верхний. при заданных диаметрах валков и абсолютных обжатиях сумма давления остается постоянной.

Для того, чтобы избавиться от давления необходимо, чтобы $\Delta D=0$, тогда:

$$D1-D2=h1-h2$$

Однако, такой способ приводит к значительной разности начальных диаметров валков и большому перекосу шпинделей.

Наиболее целесообразно равномерное распределение верхних давлений:

$$\Delta D1=\Delta D2$$

Примем также, что $D1=D2$ и $D_{н1}=D_{н2}=D_{н.ср}$. В этом случае можно записать:

$$\square\square a = 0,75h1-0,25h2$$

$$\square\square b = 0,25h1+0,25h2$$

$$\square\square c = 0,25h1-0,75h2$$

Обычно глубина вреза "b" колеблется в пределах

$$b = (0,2 \square\square 0,5)h1$$

Чем меньше врез в среднем валке тем лучше удерживается полоса в калибре, так как увеличивается глубина вреза верхнего и нижнего валков. Можно рекомендовать:

$$b = (0,25 \square\square 0,35)h1$$

Меняя величину "b", можно выравнять верхнее давление и сводить его к минимальному значению при рациональном выборе начальных диаметров валков с учетом их допустимого перекоса.

На практике часто применяют начальный диаметр среднего валка меньше начального диаметра верхнего и нижнего валков, что дает возможность сделать более глубокий врез на верхнем и нижнем валках.

В некоторых случаях с целью избавления от большего верхнего давления изменяют размеры калибров и порядок кантовки. При этом $h1=h2$ и ширина верхнего калибра меньше нижнего.

Раскат перед задачей в верхний калибр необходимо кантовать на 90° . Обычно кантовка с задней стороны снижает производительность, утяжеляет условия работы и затрудняет полную механизацию стана.

Построение сопряженных калибров

Прежде всего определим начальные диаметры и давление ΔD . Стремятся получить ΔD не более 3% от диаметра валков.

Ширина калибра по дну ручья:

- нижнего калибра = высоте в предыдущем калибре,
- среднего калибра = на 2-3 мм больше, чем у нижнего,
- верхнего калибра = на 2-3 мм больше, чем у среднего.

Выпуск калибра 10-15% от глубины вреза. $r = 10-20\%$ от ширины калибра, r на 5 мм меньше, чем r . Стрела выпуклости у черновых калибров 1-3 мм.

10. Прокатка круглых профилей

ГОСТ 2590-88 - прокат стальной, горячекатанный круглый (Сортамент).

1. Диаметр 5...270 мм.(более 270 мм - по согласованию с потребителем)
2. По точности:
 - А - высокой точности;
 - Б - повешенной точности;
 - В - обычной точности.
3. Диаметр проката, предельные отклонения, сечение и масса одного метра - таблице (по номинальным размерам).
4. Прокат диаметром до 9 мм - в мотках, более 9 мм - в прутках (по согласовению с заказщиком можно поставлять и так и так).
5. Прокат: мерной длины, кратной мерной. Отклонения по длине +30, +50, +70 мм.
6. Кривизна прутков круглого проката - меньше 0,2% длины.

7. Диаметр и овальность измеряют на расстоянии не менее 150 мм от конца прутка и не менее 1,5...3 м (в зависимости от массы) от конца мотка.

Способы калибровки круглой стали

Согласно ГОСТ 2590-88 к горячекатанной круглой стали относят профили диаметром 5-270 мм. При необходимости могут прокатывать и большие круги, например трубная заготовка, до 300 мм. Круглая сталь диаметром 5-9 мм, сматываемая в бунты, называется проволокой.

Определенная закономерность в калибровке имеется только в последних клетях овал - круг. В остальных клетях могут быть различные системы калибровки: прямоугольник - ящичный квадрат - прямоугольник, квадрат - шестиугольник - квадрат, квадрат - овал - квадрат, овал - ребровой овал - овал.

В зависимости от размеров профилей, качества стали, типа стана и других факторов применяют различные способы прокатки круглой стали.

В большинстве случаев применяют одно-радиусные предчистовые калибры. При прокатке арматурной стали ГОСТ 5781-82 и круглой стали больших диаметров в качестве предчистового калибра используют плоский овал.

В остальных проходах наиболее часто применяют систему овал - квадрат. Способ прокатки по системе овал - квадрат применяют при прокатке катанки на линейных и непрерывных проволочных станах (например - проволочный стан 250 на ЧМЗ), а также кругов диаметром 10-30 мм на мелкосортных станах линейного типа (стан 240 ЧМЗ). Эта система обеспечивает большие вытяжки. Когда необходимо получить меньшие вытяжки, то используют систему ромб - квадрат, например, на линейных среднесортных станах при прокатке кругов диаметром больше 30 мм.

В некоторых случаях применяется и смешанная система ромб - квадрат и овал - квадрат.

Универсальная система калибровки гладкая бочка (ящичный квадрат) - закругленный прямоугольник применяются при прокатке качественной стали на среднесортных и крупносортных станах. Наличие больших зазоров на гладкой бочке и в скругленном ребровом прямоугольнике способствует удалению окалина, сам раскат не имеет острых углов, что положительно сказывается на качестве готового профиля.

Система овал - круг - овал - круг используется когда прокатывается профили, близкие по диаметрам, например, катанка диаметром 5 и 6,3 мм. Но такая система менее универсальна (стан проволочный 250).

Схема с предовальным квадратным калибром стрелчатого типа, или с предовальным калибром - ребровой овал применяется в тех случаях, если необходимо иметь малые вытяжки в последних четырех проходах (например мелкосортный стан).

При прокатке круглой стали больших диаметров 100-300 мм часто применяют предовальные калибры в виде стрелчатых ящичных квадратов с закруглением углов (стан 350 ЧМЗ) или систему десятиугольных калибров.

Методика расчета калибровки

Исходные данные: характеристика стана, размеры исходной заготовки или число проходов, размеры готового круга.

Порядок расчета:

1. Прежде всего выбираем систему калибров в зависимости от типа стана (линейный или непрерывный) и размеров прокатываемого круга.

2. Расчет ведется против хода, по ходу прокатки или комбинированный. Начиная с чистового круга, размеры которого принимаются с учетом допусков и температуры.

3. Задаемся вытяжкой в чистовом круге и предчистовом овале;

$$\lambda_{кр}=1,1...1,2;$$

$$\lambda_{ов}=1,18...1,28.$$

4. Находим площади поперечного сечения предчистового и предовального профиля.

5. Определив по графикам или формулам уширение в чистовом круге находим размеры предчистового овала. По площади предовального калибра находим его размеры.

6. Далее рассчитываем принятую систему вытяжных калибров, по рассмотренным

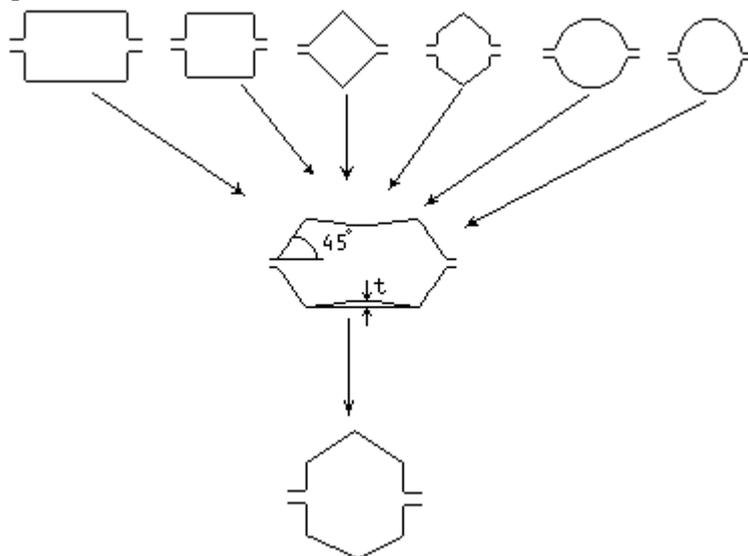
методикам.

7. Данные расчета заносим в таблицу, вычерчиваем калибры.

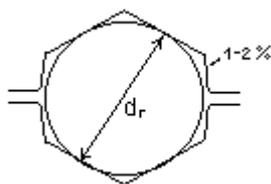
При расчете калибровки непрерывных станов нужно учитывать требуемый режим натяжений (петлевание или натяжение), наличие горизонтальных и вертикальных валков и другое. Практика показала, что на непрерывных станах целесообразно использовать системы овал - ребровой овал и овал - круг. Которые обеспечивают устойчивый процесс прокатки при натяжении, так как отсутствует кантовка между клетями чистовой группы.

11. Калибровка шестигранной стали

По ГОСТ 2879 –88 прокатывают горячекатаную шестигранную сталь размерами 8-100 мм. Размер определяется диаметром вписанного круга. Возможны следующие схемы прокатки шестигранной стали.



Наиболее распространенной является схема калибровки прямоугольник – предчистовой шестиугольник – шестиугольник. Предчистовой шестиугольник имеет уклон боковых стенок калибра под углом 45°. По дну калибра делается выпуклость 1.25...1.5 мм., чтобы создать простор на уширение в чистовом калибре, где принимают значительные абсолютные обжатия.



При построении чистового калибра вначале проводят окружность, диаметром d_r . Затем описывают шестиугольник. По месту разъема валков делают небольшой выпуск в пределах 1...2 %.

Зазор s между валками принимают таким же как и при прокатке в овальных, круглых или квадратных калибрах. Прокатывается на стане 240 ЧМЗ.

Сторона шестигранной стали

$$c = \frac{d}{\sqrt{3}} \approx 0.577 \cdot d .$$

Площадь

$$F = \frac{1}{2} \cdot \sqrt{3} \cdot d^2 \approx 0.866 \cdot d^2 .$$

Диаметр описанной окружности $h_1 = d_{on} = \frac{2 \cdot d}{\sqrt{3}} \approx 1.155 \cdot d .$

Теоретически ширина калибра $b_k = d + ctg\varphi$; $\varphi = 0.01 \dots 0.07$.

При расчете калибровки используют графики $\lambda = \lambda(d)$ и $\frac{h_{ог}}{d} = f(d)$

(рис. 96 и 98 – Протасов.)

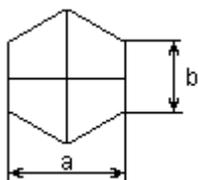
Отношение $\lambda_{\text{чист}}$ к $\lambda_{\text{предчист}}$ то есть $\lambda_1/\lambda_2 = 0.9...0.96$ если применяются ребровые или круглые калибры и $\lambda_1/\lambda_2 = 1$ если применяются квадраты на ребро.

Методика расчета аналогична расчету круглой стали. (пример Протасов. с 213.)

Для заданного профиля определяют диаметр вписанной окружности d с учетом t° и допусков. Затем считают все размеры шестигранника. Предчистовой шестиугольник считают по Δb (можно Смирнов (39), Протасов (рис. 96, 98))

Дно калибра вогнутое, $\Delta = 0.25...1.5$ мм. λ_2 из сказанного выше и сечение 3-го калибра, а дальше по обычной методике.

ГОСТ 2879-88 –шестигранная сталь горячекатаная. $a = 8...100$ мм.



По точности

- повышенной точности
- обычной

При повышенной точности перед размером ставится буква П (П22)

Пример обозначения

шестигранник 22 ГОСТ 2879-88
40X ГОСТ 10702 - 81

По длине

- немерная длина в пределах 2...6 м.
- мерная длина до 6 м.
- длины кратные мерной.

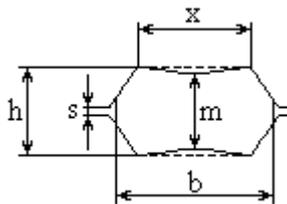
Притупление углов при $a = 8...14 - \leq 1.0$;

$a = 15...25 \leq 1.5$ мм

макс 3 мм.

Данные для построения предчистового шестигранника.

Размеры калибра см. рис	Размеры шестигранника, мм.		
	7...12	13...20	21...80
h	$d-(1.2...1.6)$	$d-(1.7...2)$	$d-(2...2.5)$
m	$h-(0.2...0.94)$	$h-(0.6...1.6)$	$h-1.0$
x	$1.3 \cdot b$	$1.3 \cdot b$	$1.3 \cdot b$
$b_{\text{пр}}$	$2 \cdot x$	$2 \cdot x$	$2 \cdot x$
s	1.5...2.5	2.5...3.0	3.5...5.5



Пример.

Рассчитать размеры чистового, предчистового и предвального калибра для прокатки шестигранной стали $d = 24$ на стане 300. Число клетей 10 (две группы 1...4 черновые; 5...10 чистовые). Определить размеры исходной заготовки и системы калибров. Найти n_b в 3-х последних клетях стана.

1. Задаем $\lambda_{\text{ср}} = 1.3$; $\Rightarrow \lambda_{\Sigma} = 1.3^{10} = 13.78$. Размеры профиля в горячем состоянии $d_r = 1.013 \cdot d_x = 1.013 \cdot 24 = 24.3$.

2. Площадь профиля $S_1 = 0.866 \cdot d_r^2 = 511,87 \text{ мм}^2$.

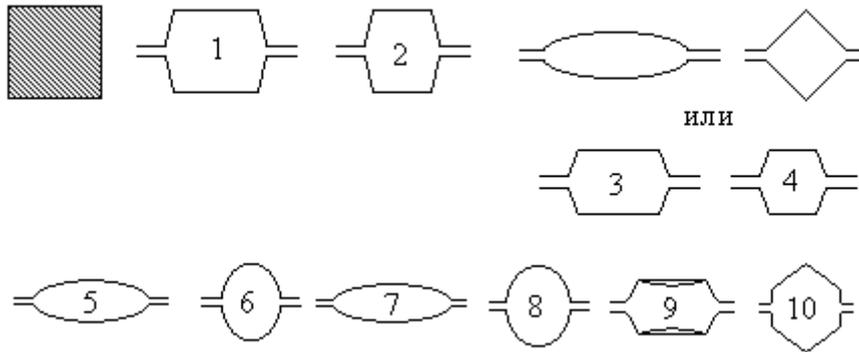
3. $S_o = \lambda_{\Sigma} \cdot S_1 = 7053$; $c_o = \sqrt{1.03 \cdot S_o}$

$c_o = 85,23 \cong 81,5$ мм. (в горячем), а в холодном 80мм.

4. Тогда $S_o = 0.97 \cdot c_o^2 = 6442 \text{ мм}^2$.

$$\lambda_{\Sigma} = S_0/S_1 = 12.92. \quad \lambda_c = \sqrt[10]{12.92} = 1.29.$$

5.



6. Разбиваем λ_i , но так чтобы $\lambda_{\Sigma} = \Pi \lambda_i$.

7. Расчет чистового калибра

8. Еще раз $d_f = 1.013 \cdot d_x = 1.013 \cdot 24 = 24.3$.

Грань шестигранника $c = 0,577d = 0,577 \cdot 24,3 = 14 \text{ мм}$.

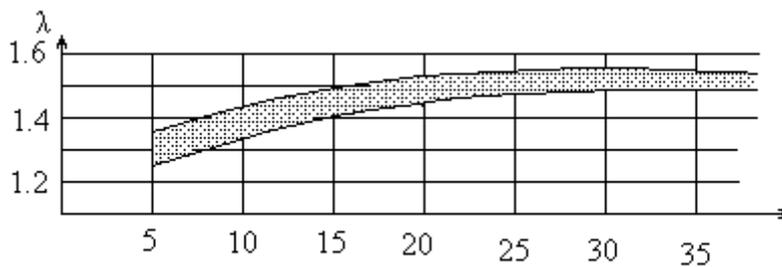
Диаметр описанной окружности $d_{оп} = 1,155d = 1,155 \cdot 24,3 = 28 \text{ мм}$.

Площадь профиля (см. ранее) $S_{10} = 510 \text{ мм}^2$.

Примем зазор $s = 3$, а уклон боковых граней 7% ($\text{tg } \varphi = 0.07$), таким образом, максимальная ширина в месте разъема валков

$$b = 24.3 + 2 \cdot \frac{14 - 3}{2} \cdot 0.07 = 25.1 \text{ мм}.$$

8. Расчет предчистовых калибров. Определим общую λ в двух последних калибрах (напр. Протасов рис.96 с. 185).



Примем $\lambda_{9-10} = 1,5$.

Тогда площадь предчистового ребрового овала $S_8 = S_{10} \cdot \lambda = 510 \cdot 1,5 = 765 \text{ мм}^2$.

$$a = 1.1 \cdot \sqrt{S_8} = 1.1 \cdot \sqrt{765} = 30.4 \text{ мм}. \quad R' = a = 30 \text{ мм}; \quad R = 0.6 \cdot a = 18 \text{ мм}.$$

$$r = 0.2 \cdot a = 6 \text{ мм}; \quad s = 3 \text{ мм}.$$

9. Примем отношение вытяжки в предчистовом калибре к вытяжке в чистовом калибре

$$\frac{\lambda_9}{\lambda_{10}} = 0.95. \text{ Тогда площадь предчистового калибра - шестигранника}$$

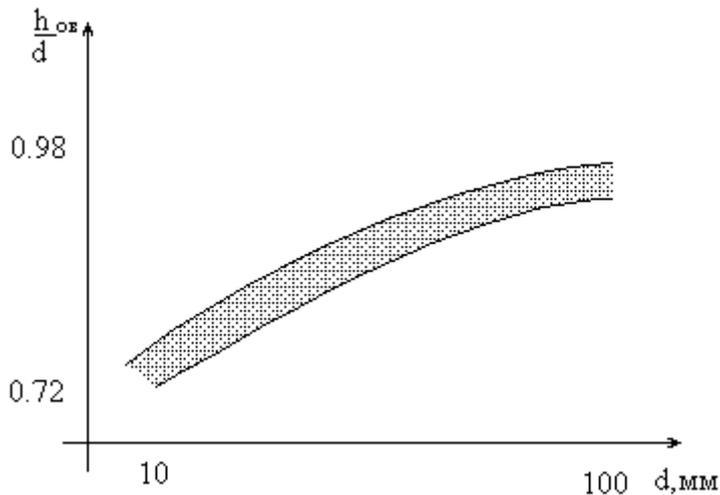
$$S_9 = \frac{\sqrt{S_{10} \cdot S_8}}{\sqrt{\lambda_9 / \lambda_{10}}} = \frac{\sqrt{510 \cdot 765}}{\sqrt{0.95}} = 642 \text{ мм}^2.$$

Можно не так

$$\lambda_9 / \lambda_{10} = 0.95 \Rightarrow \lambda_9 = 0.95 \cdot \lambda_{10}, \text{ но } \lambda_9 \cdot \lambda_{10} = 1.5 \Rightarrow \lambda_{10}^2 \cdot 0.95 = 1.5 \Rightarrow$$

$$\lambda_{10} = \sqrt{\frac{1.5}{0.95}} = 1.26 \text{ и } \lambda_9 = 1.26 \cdot 0.95 = 1.19 \text{ и } S_9 = S_{10} \cdot \lambda_{10} = 510 \cdot 1.26 = 642 \text{ мм}^2.$$

10. Высоту предчистового калибра находим по графику например. Рис.98 с. 182 Протасов



$$\frac{h}{d} = 0.87 \Rightarrow h_9 = 0.87 \cdot 24.3 = 21.2 \text{ мм.}$$

Ширина предчистового калибра вычисляется по формуле

$$b_9 = \frac{S_9}{h_9} + \frac{1}{2} \cdot h_9 = \frac{640}{21.2} + 0.5 \cdot 21.2 = 40.8 \text{ мм.}$$

Зазор $s = 4$ мм.

Тогда ширина вреза вала

$$b = b_9 - s = 40.8 - 4 = 36.8 \text{ мм.}$$

Ширина средней части

$$x = b_9 - h_9 = 40.8 - 21.2 = 19.6 \text{ мм.}$$

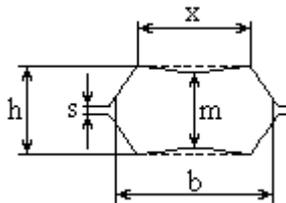
Или по таблице (см. лекцию).

$$h = 24.3 - (2 \dots 2.5) = 24.3 - 2.5 = 21.8 \text{ мм.}$$

$$m = h - 1.0 = 20.8 \text{ мм.}$$

$$x = 1.3s = 1.3 \cdot 24.3 = 18.2 \text{ мм.}; b = 2x = 36.4 \text{ мм.}$$

$$S = 3.5 \dots 5 = 4 \text{ мм.}$$



Остальные калибры считаются как вытяжные. Например по алгоритму 3.4 (Смирнов).

12. Калибровка арматурной стали

Алгоритм расчета калибровки арматурной стали аналогичен расчету круглой стали.

Однако предпочтение следует отдать расчету против хода прокатки.

Здесь 3 варианта.

1 вариант.

(1) Задаем вытяжки в чистовом и предчистовом проходах.

(2) Для $d_p = N$ определяем высоту овала, как при прокатке круга, по соответствующим графикам, номограммам и т. п.

$$\text{Для } N \leq 40 \quad h_{\text{ов}} = h_{\text{обычн}} + (1 \dots 2) \text{ мм.}$$

$$\text{Для } N \geq 40 \quad h_{\text{ов}} = h_{\text{обычн}} + (2 \dots 4) \text{ мм.}$$

$$(h_{\text{обычн}} = h(d, \lambda, D_B))$$

$$\text{и уширение овала } b_{\text{ов}} = \frac{S_{\text{ов}}}{h_{\text{ов}}} + 0.215 \cdot h_{\text{ов}}$$

(3) Предшествующие калибры считают аналогично круглой стали.

2 вариант.

Считаем тоже против хода прокатки, но размеры предчистового овала определяем из рекомендаций в зависимости от № арматуры по учебникам;

- табл. 37, стр. 221 – А. А. Протасов. Или

- табл. 34, стр. 245 – Н. В. Литовченко.

Предшествующие калибры аналогично варианту 1.

3 вариант.

Расчет по ходу прокатки и тогда уширение овала в чистовом калибре считать по формуле УПИ (стр. 98) с коэффициентами $c_0 \dots c_7$ по исследованиям ЮУрГУ

$$\beta = 1 + c_0 \cdot \left(\frac{1}{\eta} - 1 \right)^{c_1} \cdot A^{c_2} \cdot a_0^{c_3} \cdot a_k^{c_4} \cdot \delta^{c_5} \cdot \psi^{c_6} \cdot \operatorname{tg} \varphi^{c_7}$$

система	c_0	c_1	c_2	c_3	c_4	c_5	c_6	c_7
Овал- арматурн. профиль	0,984	0,012	-0,767	2,437	0	1,42	0	0
Плоский овал арматурн. профиль	0,272	0,206	-0,43	3,419	0	0,385	0	0

13. Калибровка полосовой стали

Это профили прямоугольной формы с острыми кромками.

Различают : штрипс, лента, гаечная полоса, рессорная сталь, сутунка, шинная и обручная.

ГОСТ 103-76 (88) полоса стальная горячекатаная общего назначения и полоса для гаек.

Основные размеры $B = 11 \dots 200$ мм ; $h = 4 \dots 60$ мм.

По точности различают повышенный класс точности А и нормальной точности – Б.

Пример обозначения:

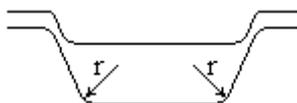
Если полоса идет на последующую штамповку, то перед точностью ставится буква Ш.

Полоса $\frac{A-1 \ 10 \times 22 \ \text{ГОСТ} \ 103-88}{09Г2 \ \text{ГОСТ} \ 535-88}$

Имеются некоторые разновидности узкополосной стали: рессора (гладкая, двояко вогнутая, Т образная и желобчатая); полоса штрипсовая (для изготовления сварных труб шириной 30 – 400 мм и толщиной 1.7...15 мм.) и гаечная; лента (толщиной более 1.5 мм, предназначается для сварных труб и других нужд народного хозяйства); лемешная сталь автообод ; шинное железо шириной 40...65 мм и толщиной 5...12 мм. с закругленными краями); обручное железо (толщиной 1.5...3.5 мм и шириной 20...100 мм.), сутунка (шириной 150...400 мм и толщиной 5..20 мм , из которой прокатывают тонкие листы на станах старого типа).

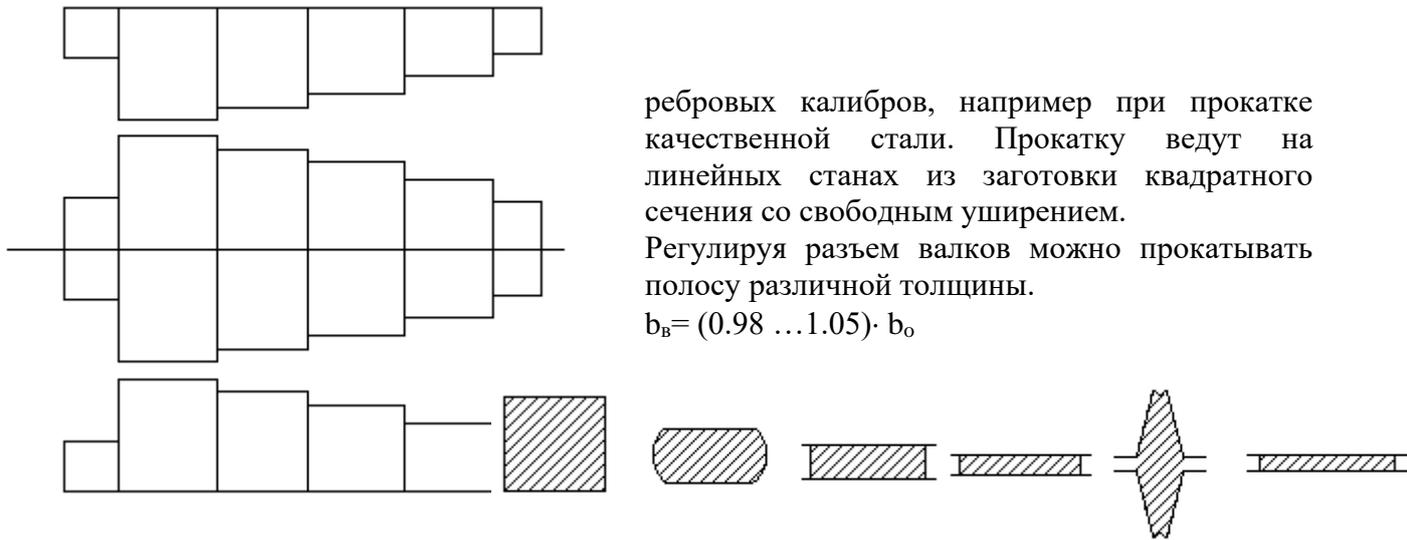
Различают следующие способы прокатки полосовой стали.

1. В закрытых калибрах. Этот способ применяется при прокатке сутунки и полосы шириной > 80 мм на суглоучных листовых станах.



Недостатки способа – частые перевалки и большой парк валков. Для предупреждения образования заусенцев применяют закругления у дна калибров ($r = 0.25 \dots 0.9$ высоты калибра). Иногда вместо закруглений радиусами делают притупление углов наклонными линиями под углом 45° . Уклон стенок 3...5 % для черновых и 0.5...1 % для чистовых. Места разъемов калибров рассчитывают поочередно сверху и снизу.

2. Прокатка в ступенчатых валках. Применяют при изготовлении полос шириной менее 80 мм. Для получения точных размеров по ширине применяют ребровые калибры. Обычно предчистовой калибр ребровой, а чистовой - гладкие валки. Могут применять и больше



ребровых калибров, например при прокатке качественной стали. Прокатку ведут на линейных станах из заготовки квадратного сечения со свободным уширением. Регулируя разъем валков можно прокатывать полосу различной толщины.

$$b_b = (0.98 \dots 1.05) \cdot b_0$$

b_0 – толщина задаваемой полосы.
 $\text{tg } \varphi = 0.05 \dots 0.10$, т.е. 5-10 % уклон.
 $t = 0.5 \dots 1.0$ мм. $s = 0.015 \cdot D_0$.
 $r = 5 \dots 15$ мм.

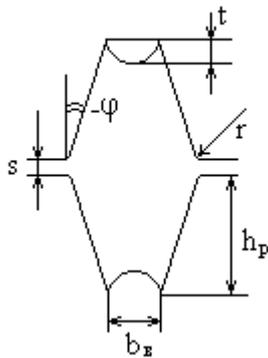
Высоту ручья определяют, исходя из возможности прокатки наиболее узкой полосы.

Изменяя зазор можно прокатывать более широкие полосы, но $s < 1/3 \cdot h$ полосы или $h_{\text{полосы}} < 3/2 h_p$. Коэффициент

высотной деформации должен быть в пределах $\eta = \frac{H}{h} =$

1.05 ... 1.2. Чем тоньше полоса, тем меньше η .

3. Прокатка на станах с последовательным расположением клетки и на мелкосортных станах, когда в каждой клетке делается один проход. Калибровку ведут с калиброванными или гладкими валками. Применяют один - два ребровых калибра. Два ребровых калибра нужно не столько для получения ширины, сколько для получения углов.



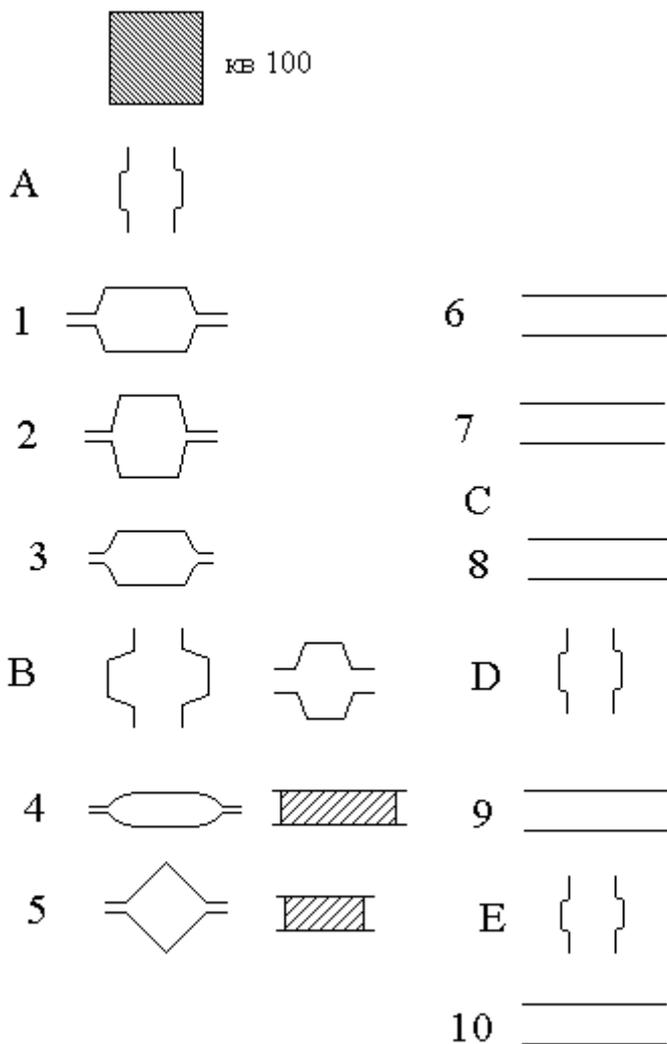
4. Прокатка на непрерывных мелкосортных, полосовых и

штрипсовых станах. В первых клетях используют калиброванные валки, в последующих проходах – гладкая бочка.

Калибровка стана 300 для прокатки рессорных полос

Методика расчета режима обжатий

Режимы обжатий полосы определяют различными способами: по предельным условиям



захвата ; из условий полного использования мощности электродвигателей; по коэффициентам высотной деформации $\eta = \frac{h_0}{h_1}$, принятых на основе опытных данных.

Обычно расчет по одной методике сопровождается проверкой по другим условиям. Часто расчет ведут по коэффициентам высотной деформации так как при прокатке полосы осуществляется в основном односторонняя высотная деформация с корректировкой ширины в ребровых проходах. Таким образом при расчете калибровки пользуются не λ , а коэффициентом обжатия (коэффициент высотной деформации) $\eta = H/h$. коэффициент η уменьшается по ходу прокатки.

Методика следующая.

Если известны размеры исходной заготовки и готового профиля, то последовательность расчета может быть по ходу и против хода прокатки.

Определяют общий коэффициент высотной деформации

$$\eta_{\Sigma} = H_0/h_k \quad (1)$$

Определяют среднее значение коэффициента деформации при известном n

$$\frac{1}{\eta_{cp}} = \sqrt[n]{\frac{1}{\eta_{\Sigma}}} = \sqrt[n]{\frac{H_0}{h_n}} \quad (2)$$

Распределяют $1/\eta$ по клетям, но распределение это ведут дифференцированно : $1/\eta$ уменьшают в предчистовых и чистовых клетях и увеличивают в черновых по сравнению с $1/\eta_{\text{ср}}$.

Если заготовка неизвестна, то можно вычислять $(1/\eta)_{\Sigma}$ по статистической зависимости

$$\left(\frac{1}{\eta}\right)_{\Sigma} = 0.445 + 0.787 \cdot a_n, \quad (3)$$

где a_n отношение сторон готовой полосы.

Тогда
$$H_0 = h_n \cdot (1/\eta)_{\Sigma} \quad (4)$$

А число проходов на гладкой бочке

$$n_r = 2.319 \cdot a_n^{0.413} \quad (5)$$

по величинам $(1/\eta)_{\Sigma}$ и n_r – определяют $(1/\eta)_c = (1/\eta)_{\Sigma}^{1/n_r}$.

Иногда, вместо $1/\eta_{\text{ср}}$ по (2) определяют $1/\eta_{\text{max}}$ из условия захвата валками, а затем распределяют η по клетям имея ввиду следующее:

- обжатия в предчистовых и предчистовых не будут max. Обычно в чистовом проходе $\Delta h = 2 \dots 5$ мм, а в предчистовом ребровом проходе $\Delta h = 0.5 \cdot \Delta h_{\text{max}}$. В остальных ребровых проходах $\Delta h_p = (0.5 \dots 1.0) \cdot \Delta h_{\text{max}}$ или $\Delta h_p = (0.3 \dots 0.8) \cdot h_{\text{полосы}}$.

$1/\eta$ уменьшается по ходу прокатки, принимая в чистовой группе значения

$$1/\eta = 1.15 \dots 1.25, \text{ но всегда } \left(\frac{1}{\eta}\right)_{\Sigma} = \frac{1}{\eta_1} \cdot \frac{1}{\eta_2} \cdot \dots \cdot \frac{1}{\eta_n} = \prod_{i=1}^n \frac{1}{\eta_i} \quad (2a).$$

При распределении можно пользоваться таблицей или графиком стр 98 Литовченко.

№ прохода	$1/\eta_{\text{ср}}$ при обжатиях			
	Весьма высоких	высоких	средних	пониженных
1	-	1.9	1.65	1.3
2	-	1.9	1.65	1.3
3	-	1.75...1.9	1.65	1.3
4	1.95...2.0	1.75...1.85	1.55...1.6	1.25...1.3
5	1.95...2.0	1.75...1.8	1.55...1.6	1.25...1.3
6	1.75...1.8	1.6...1.7	1.45...1.5	1.2...1.25
7	1.55...1.6	1.45...1.5	1.35...1.4	1.15...1.2
8	1.35...1.4	1.28...1.3	1.2...1.25	1.1...1.15

Если известен только размер конечного профиля, то режимы обжатия рассчитывают против хода прокатки.

Коэффициент высотной деформации принимают в соответствии с таблицей.

Ширину полосы в каждом проходе находят по уширению, которое находят по одной из формул, либо по графикам (в т.ч. по 3.9 – Смирнов)

$$\beta_{\Sigma} = \prod_{i=1}^{n_r} \beta_i \quad \Delta b_{\Sigma} = \sum_{i=1}^{n_r} \Delta b_i$$

Коэффициент обжатия в ребровых проходах зависит от отношения осей сечения полос $a_p = B_{pn}/h_{pn}$. Чем больше a_p тем меньше должно быть обжатие в ребровых проходах.

Литовченко Н.В. $\Delta h_p = k \cdot \Delta h_c$,

где $k = 0.3 \dots 1.0$; Δh_c – среднее обжатие на гладкой бочке.

Тогда:
$$(1/\eta)_p = 1 + k_1 \cdot \frac{(1/\eta)_r - 1}{a_p}, \quad (6)$$

Где $(1/\eta)_r$ – коэффициент обжатия в предыдущем по ходу прокатки проходе на гладкой бочке.

$$k_1 = \left\{ \begin{array}{l} 0.5 \dots 0.75 \text{ – для предчистовых ребровых} \end{array} \right.$$

a_p – отношение b/h в предыдущем горизонтальном проходе
Суммарная величина ребровых обжатий:

$$\Sigma \Delta h_p = \Sigma \Delta b - (b_n - b_0)$$

$$\text{или } \left(\frac{1}{\eta} \right)_{p\Sigma} = B_0 \cdot \beta_\Sigma / B_n,$$

где β_Σ – суммарный коэффициент уширения во всех проходах

$$\beta_\Sigma = \prod_1^{n_r} \beta_i$$

Тогда число ребровых проходов

$$n_p = \frac{\ln(1/\eta)_{p\Sigma}}{\ln(1/\eta)_{pc}}, \quad (9)$$

где $(1/\eta)_{cp}$ – считать по (6) и средней a_{pc}

$$\text{или } n_p = \frac{\Sigma \Delta h_p}{\Delta h_{pc}} \quad (9a)$$

Теперь можно определить ширину заготовки т.к. $B_n = B_0 \cdot \beta_\Sigma - \Delta h_{p\Sigma}$, то
 $B_0 = (B_n + \Delta h_{p\Sigma}) / \beta_\Sigma$, где $\Delta h_{p\Sigma} = n_p \cdot B_n \cdot k(1/\eta_c - 1) / a_n$

$$\text{или } B_0 = B_n \cdot \frac{1 + k \cdot \left(\frac{1}{\eta} c - 1 \right) / a_n}{\beta_\Sigma}$$

Можно принимать $k=1$, а β_Σ определять примерно через β_c как описывается в 3.9 [1]
При $1/\eta = 1/\eta_c$, $a_0 = 1/a^n$ и $A1$ в чистовом проходе. $B_\Sigma = \beta_c^n$.

Алгоритм расчета формоизменения при прокатке полосовой стали.

Задача

- заготовка $h_0 \times b_0$ (S_0)
- профиль $h_n \times b_n$ (S_n)
- тип и характеристика стана и сталь
- 1. Определяем $1/\eta_\Sigma$ по (1) и отношение осей чистового профиля $a_n = b_n/h_n$ или $1/\eta_\Sigma$ по (3)
- 2. Определяем $1/\eta_c$ по (2) или n_r по (5) и потом $1/\eta_c$ или n_r через $1/\eta_\Sigma$ и $1/\eta_c$ (здесь $1/\eta_c$ – задается) n_r – округляется до ближайшего целого числа.
- 3. По таблице ил графику (рис. 3.23 с.187 [1]) или из опытных данных распределяем $1/\eta_i$, но так чтобы выполнялось

$$\left(\frac{1}{\eta} \right)_{\Sigma} = \frac{1}{\eta_1} \cdot \frac{1}{\eta_2} \cdot \dots \cdot \frac{1}{\eta_n} = \prod_1^n \frac{1}{\eta_i}$$

- 4. Считают полосу в каждом проходе на гладкой бочке $h_i = h_{i-1} / (1/\eta_i)$
- 5. По рисункам, графикам, в т. ч. 3.9 [1] считаем β_i или Δb_i проходе на гладкой бочке и затем суммируют $\beta_\Sigma = \prod_1^{n_r} \beta_i$ или $\Delta b_\Sigma = \sum_1^{n_r} \Delta b_i$
- 6. Считаем по (8) или (7) суммарный коэффициент обжатия в ребровом калибре $(1/\eta)_{\Sigma p}$ или $\Sigma \Delta h_p$
- 7. По (6) определяют $(1/\eta)_{pc}$ и $(1/\eta)_{pi}$

$$(1/\eta)_{p=1+k_1} \cdot \frac{(1/\eta)_r - 1}{a_p}; a_{pc} = \frac{a_{p0} + a_{pn}}{2} \text{ или } (1/\eta)_{pi=1+k_1} \cdot \frac{(1/\eta_r)_{i-1} - 1}{(a_p)_{i-1}}.$$

Можно Δh_p выбрать по рекомендациям.

- 8. По (9) или (9a) определяют число ребровых проходов.
- 9. Составляют схему калибровки и считают в каждом ребре $1/\eta_{pi}$.

10. Против хода прокатки определяют окончательную ширину полосы в каждом проходе с учетом $1/\eta_{pi}$ и β_i .
11. Считают площади поперечных сечений $S_{i1} = h_{i1} \cdot b_{i1}$ и вытяжку $\lambda_i = S_{i-1}/S_{i1}$ в каждом проходе.
12. Проверяют ограничения по условиям захвата, скоростному режиму, энергосиловой загрузки оборудования и другие ограничения.

Следует иметь ввиду, что возможно два варианта расчета:

- если заданы S_0 ($h_0 \times b_0$) и S_n ($h_n \times b_n$);
- если заданы только S_n ($h_n \times b_n$).

Если (1), то все считаем от начала до конца.

Если (2), то надо найти размеры заготовки, причем она может выходить из черновой группы клетей. Но ее размеры надо найти. В этом случае лучше пользоваться формулами (3),(4),(5) для $1/\eta_\Sigma$, h_0 и n_r .

$$\text{Ширину } b_0 = \frac{b_n + \Delta h_{p\Sigma}}{\beta_\Sigma},$$

где $\Delta h_{p\Sigma}$ по формуле (7) или $\Delta h_{p\Sigma} = n_r \cdot \Delta h_{pc}$

$$\beta_\Sigma = \beta_c^{n_r}$$

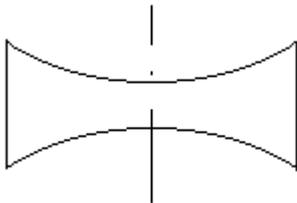
коэффициенты высотной деформации можно принимать по рекомендациям:

- 1) таблицы, графики, лекции.
- 2) Рисунки, графики стр 187 [2]

Два примера: по первому варианту – стр. 191 алгоритм 3.11

По второму варианту – стр. 192 алгоритм 3.12

Калибровка двояковогнутой рессоры.



Двояковогнутая автомобильная рессора имеет профиль близкий к полосе. Очертания верхней и нижней поверхности принимаются параболическими.

Изготавливается она из пружинной кремнистой стали марки 55С2. Температура конца прокатки должна быть достаточно высокой. Лучше всего ее прокатывать на непрерывных и специальных станах.

Ширина чистового калибра берется с учетом теплового расширения стали плюс 3...4 мм с каждой стороны,

чтобы не было закусывания кромок профиля буртами. Требуемая вогнутость создается в последнем проходе. Для обеспечения требуемой ширины и вогнутости профиля

необходимо достаточно высокая деформация в чистовом калибре $1/\eta = 1.15 \dots 1.25$.

меньшее обжатие принимают для готового профиля большей толщины. В черновых проходах рекомендуется $1/\eta = 1.4 \dots 1.6$, в чистовых $1.15 \dots 1.4$ на вертикальных валках $1.1 \dots 1.25$. По ходу прокатки обжатие уменьшается.

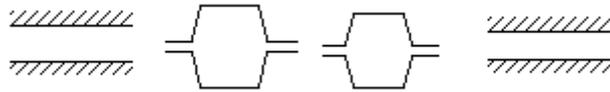
Ширина заготовки принимается

$$b_0 = b_n + (2 \dots 5) \text{ мм.}$$

Калибровка гаечной полосы.

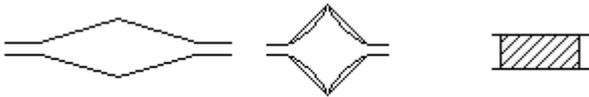
Гаечная полоса характеризуется отношением сторон $b/h = 1.2 \dots 2.0$. Существует два способа калибровки:

- 1) с двумя предчистовыми ребровыми калибрами;



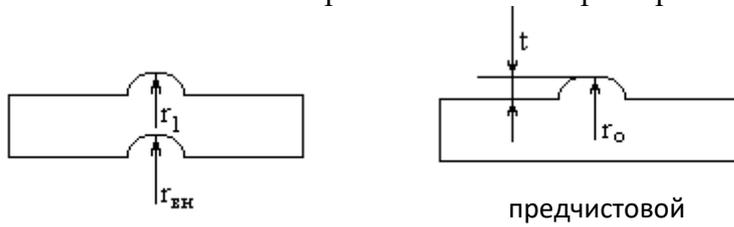
3) С двумя предчистовыми калибрами ромб – квадрат. Последний проход на гладкой бочке.

Ромб должен быть с острыми углами, как и квадрат. Вогнутость сторон квадрата 0.2...0.7



мм, для компенсации образования выпуклых граней в чистовом проходе.

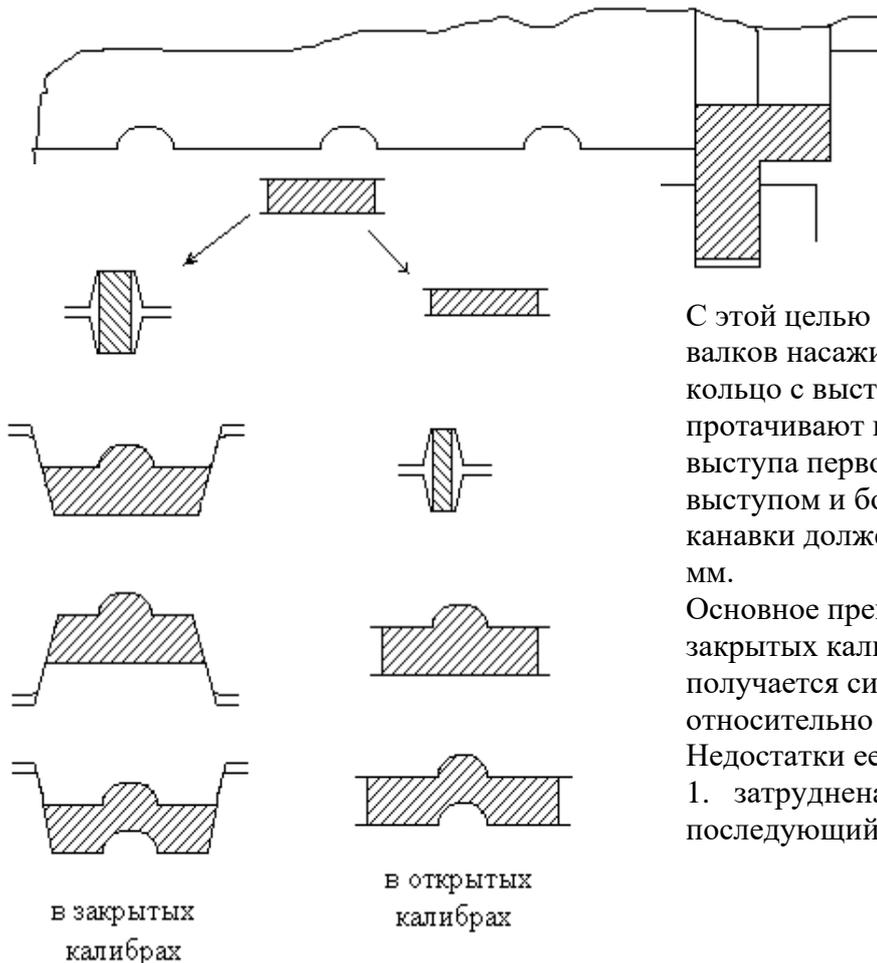
Калибровка желобчатой рессорной стали.



чистовой

предчистовой

Такая форма профиля предотвращает смещение отдельных полос, друг относительно друга сборной рессоры. По техническим условиям допускается небольшое смещение друг относительно друга впадины и выступа. Поэтому требуются дополнительные приспособления для правильной установки валков. Особенно это важно при прокатке в открытых калибрах.



С этой целью на бочку одного из валков насаживают горячей посадкой кольцо с выступом, а на другом валке протачивают канавку для входа в нее выступа первого валка. Зазор между выступом и боковыми стенками канавки должен быть не более 0.08 мм.

Основное преимущество прокатки в закрытых калибрах то, что профиль получается симметричный относительно вертикальной оси.

Недостатки ее :

1. затруднена расточка волков и их последующий ремонт, так как

в закрытых
калибрах

в открытых
калибрах

- необходима большая точность вреза ручьев.
2. Дополнительный расход энергии в связи со сниженным уширением и дефекты поверхности полосы, связанные с выработкой боковых стенок ручьев.
 3. В каждом калибре прокатывается профиль только одного размера.
- Выступ $t = 2.5 \dots 3$ мм. он представляет собой овал с радиусом закругления

$$r_o = (2.5 \dots 3) r_1$$

$$r_o = (2 \dots 2.5) r_{вн.}$$

14. Калибровка фасонных профилей

14.1. Уголок

14.2. Балочные профили

14.3. Рельсовые профили

14.4. Специальные виды проката

15. Калибровка валков с многовалковыми калибрами

15.1. Трехвалковые калибры

15.2. Четырехвалковые калибры

16. Приложения

16.1.

16.2.

Практические занятия

- Первое семестровое задание
- Второе семестровое задание
- Третье семестровое задание
- Задачи по разделам курса