

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ  
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ имени академика С.П. КОРОЛЕВА  
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)»

В.Р. Каргин, Г.В. Чертков, И.В. Осиновская

## ДИПЛОМНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЛИСТОПРОКАТНЫХ ЦЕХОВ

*Утверждено Редакционно-издательским советом университета  
в качестве учебного пособия*

САМАРА  
Издательство СГАУ  
2010

УДК 621.778(075)

ББК 34.621

К 218

Рецензенты: д-р техн. наук, проф. В. А. К о с т ы ш е в,  
канд. техн. наук, проф. Р. З а б б а р о в

*Каргин В.Р.*

К 218 **Дипломное проектирование листопрокатных цехов:** учеб.  
пособие / *В.Р. Каргин, Г.В. Чертков, И.В. Осиновская;* под  
общ. ред. Ф.В. Гречникова. – Самара: Изд-во Самар. гос.  
аэрокосм. ун-та, 2010. – 104 с.

**ISBN 978-5-7883-0807-4**

Рассмотрены основные вопросы дипломного проектирования современных листопрокатных цехов. Приведены цели и задачи дипломного проектирования, рекомендации по сбору и анализу материалов, их распределению в дипломном проекте. Описаны методики проектирования технологии прокатки полуфабрикатов из алюминия и алюминиевых сплавов, включающие процессы горячей прокатки, холодной прокатки и отделки. Приведены требования по оформлению, а также по составу проекта, объему пояснительной записки и графической части проекта. Материал иллюстрирован примерами, снабжен методическими указаниями.

Учебное пособие предназначено для студентов инженерно-технологического факультета, обучающихся по специальности 150106 «Обработка металлов давлением».

УДК 621.778(075)

ББК 34.621

**ISBN 978-5-7883-0807-4**

© Самарский государственный  
аэрокосмический университет, 2010

## СОДЕРЖАНИЕ

ОСНОВНЫЕ УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ.....	5
ПРЕДИСЛОВИЕ.....	7
ВВЕДЕНИЕ.....	9
1 СОДЕРЖАНИЕ И ОБЪЕМ ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТА .....	15
2 СУЩНОСТЬ ПРОЦЕССА ПРОКАТКИ И АНАЛИЗ ОЧАГА ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ.....	24
3 РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА.....	28
3.1 Анализ базового варианта маршрутной технологии листовой горячей прокатки и описание применяемого оборудования.....	28
3.1.1 Отливка слитков .....	28
3.1.2 Гомогенизационный отжиг и резка слитков в меру.....	29
3.1.3 Фрезерование .....	30
3.1.4 Мойка и сушка слитков .....	30
3.1.5 Плакирование слитков .....	31
3.1.6 Нагрев слитка.....	32
3.1.7 Горячая прокатка .....	32
3.1.8. Обработка продукции на линии резки толстых листов ....	36
3.1.9. Смотка в рулон горячекатаной полосы на подпольную моталку .....	37
3.1.10 Резка рулонов на листы на линии непрерывной резки полос толщиной 1,5 ... 6,0 мм.....	38
3.1.11 Термическая обработка (виды) .....	39
3.1.12 Прогладка .....	40
3.1.13 Обработка продукции на линии резки тонких листов ....	40
3.1.14 Естественное или искусственное старение .....	40
3.1.15 Контроль качества продукции.....	40
3.1.16 Упаковка продукции .....	41
3.1.17 Сдача на склад .....	41
3.1.18 Утилизация отходов .....	41
3.1.19 Дефекты, возникающие при горячей прокатке.....	42
3.2 Выбор основного оборудования .....	44
3.3 Выбор размеров слитка.....	44
3.4 Выбор режимов обжатий .....	45

3.5 Описание технологического процесса горячей прокатки проектируемого цеха.....	53
<b>4 РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ХОЛОДНОЙ ЛИСТОВОЙ ПРОКАТКИ.....</b>	<b>56</b>
4.1 Анализ базового варианта маршрутной технологии листовой холодной прокатки и описание применяемого оборудования.....	56
4.1.1 Обработка на линии укрупнения рулонов (ЛУР).....	56
4.1.2 Холодная прокатка рулонов .....	57
4.1.3 Термическая обработка после прокатки.....	60
4.1.4 Резка полосы продольная.....	62
4.1.5. Резка в лист поперечная.....	63
4.1.6 Контроль.....	64
4.1.7 Маркировка .....	65
4.1.8 Упаковка.....	65
4.1.9 Сдача на склад. ....	65
4.1.10 Дефекты, возникающие при холодной прокатке.....	65
4.2 Выбор основного оборудования .....	67
4.3 Выбор размеров заготовки.....	68
4.4 Расчет режимов обжатий холодной прокатки .....	68
4.5 Описание технологического процесса холодной прокатки проектируемого цеха.....	71
<b>5 ВЫБОР ДВИГАТЕЛЯ ДЛЯ ПРИВОДА ВАЛКОВ.....</b>	<b>73</b>
<b>6. РАСЧЁТЫ НА ПРОЧНОСТЬ ОСНОВНЫХ ДЕТАЛЕЙ ПРОКАТНОГО СТАНА.....</b>	<b>76</b>
6.1 Расчет валков рабочей клетки .....	76
6.2 Расчет станины рабочей клетки .....	78
<b>7 РАЗРАБОТКА ПЛАНИРОВКИ ЦЕХА .....</b>	<b>82</b>
<b>8 РАСЧЕТ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ОТХОДОВ И ВЫХОДА ГОДНОГО .....</b>	<b>91</b>
<b>СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ .....</b>	<b>98</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ.....</b>	<b>101</b>

## ОСНОВНЫЕ УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

$H_{сл}, B_{сл}, L_{сл}$  — толщина, ширина и длина слитка;

$h_0, B_0, L_0$  — толщина (высота), ширина, длина полосы до прохода прокатки;

$h_1, B_1, L_1$  — то же, после прохода прокатки;

$h_k, B_k, L_k$  — конечные толщина, ширина и длина полосы;

$T_{рекp}, T_{пл}, T_{np}, T_s$  — температуры рекристаллизации, плавления, прокатки и солидуса соответственно;

$h_{пл}$  — толщина планшета;

$\delta$  — требуемая величина лакирующего слоя в процентах к толщине изделия;

$h_{cp}$  — средняя толщина полосы в очаге деформации;

$\Delta h$  — абсолютное обжатие;

$\varepsilon$  — относительное обжатие;

$\varepsilon_{\Sigma}$  — суммарное обжатие за несколько проходов прокатки;

$\Delta b$  — абсолютное уширение;

$F_0$  и  $F_1$  — площадь поперечного сечения полосы до и после прокатки;

$\lambda$  — коэффициент вытяжки;

$\lambda_{cp}$  — средний коэффициент вытяжки;

$R$  и  $D$  — радиус и диаметр валков;

$L_в$  — длина бочки валка;

$\alpha$  — угол захвата металла валками;

$[\alpha]$  — допустимый угол захвата;

$l$  — длина очага деформации (длина дуги захвата);

$l_c$  — длина дуги захвата с учетом сплющивания валков;

$F_k$  — площадь контактной поверхности раската с валком;

$v_a$  — окружная скорость валков;

$v_n$  — скорость в нейтральном сечении;

$V_0$  и  $V_1$  — скорость полосы на входе и выходе из валков;

$S$  — опережение металла относительно валков;

$a$  — плечо прокатки;  
 $\psi$  — коэффициент плеча приложения равнодействующей силы;  
 $\gamma_n$  — нейтральный угол;  
 $u$  — скорость деформации;  
 $\sigma_{S_0}, \sigma_{S_1}$  — предел текучести металла на входе и выходе из валков при холодной прокатке;  
 $\sigma_{S_n}$  — исходное значение предела текучести металла при начальных условиях (горячая прокатка);  
 $S_q$  — истинное сопротивление деформации;  
 $\eta'_{\alpha}, \eta''_{\alpha}, \eta'''_{\alpha}$  — коэффициенты, учитывающие соответственно влияние внешних сил, внешнего трения, подпора и натяжения;  
 $K_t, K_s, K_u$  — термомеханические коэффициенты;  
 $K_0$  — сопротивление чистому сдвигу материала полосы на входе в валки;  
 $K_1$  — сопротивление чистому сдвигу материала полосы на выходе из валков;  
 $P$  — усилие прокатки (полное давление металла на валок);  
 $p_{cp}$  — среднее контактное давление прокатки;  
 $\mu$  — коэффициент трения на контактной поверхности металла с валком;  
 $t_{раб}$  — рабочее время прокатки;  
 $t_n$  — время пауз между проходами прокатки;  
 $t_{ц}$  — продолжительность одного цикла прокатки;  
 $Q$  — продольная сила, приложенная к полосе;  
 $\sigma_0$  и  $\sigma_1$  — напряжения заднего и переднего натяжения полосы;  
 $M_{np}$  — крутящий момент на шейке валка (момент прокатки);  
 $A_{np}$  — работа прокатки (деформации);  
 $N_{np}$  — мощность прокатки (деформации);  
 $M_{дв}$  — момент двигателя (крутящий момент на валу электродвигателя).

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Настоящее учебное пособие составлено применительно к содержанию и направлению дипломных проектов и курсовых работ, выполняемых студентами, обучающимися по специальности «Обработка металлов давлением» очной и очно-заочной форм обучения.

Излагаемый материал ставит своей целью подробно ознакомить студентов с составом проекта, содержанием и объемом пояснительной записки, необходимыми к ней приложениями и графической частью проекта.

Данное пособие не исключает необходимости использования при выполнении дипломного (курсового) проекта основных справочных и руководящих материалов, учебных пособий и других литературных источников.

Дипломное проектирование является завершающим этапом обучения студента в вузе и выявляет степень его зрелости как будущего инженера и командира производства.

В дипломном проекте студент должен решать реальные задачи, выдвигаемые промышленностью, по совершенствованию технологических процессов прокатного производства, их механизации и автоматизации, а также показать достижения новаторов прокатного производства и передовых предприятий России.

Многообразие и значительный объем вопросов, составляющих сущность дипломного проекта, требуют комплекса знаний из различных областей науки и техники, на основе которых должны быть найдены рациональные решения этих вопросов по проектированию цехов, дающих наиболее высокие технико-экономические показатели.

Целью дипломного проектирования является разработка проекта нового или реконструируемого листопрокатного цеха, который при наименьших капитальных вложениях обеспечит наиболее низкую стоимость продукции высокого качества. При этом проект может иметь развитую технологическую, конструкторскую и исследовательскую части. В проекте следует использовать законченные и проверенные практикой результаты научных исследований и проектно-конструкторских разработок по созданию прогрессивных технологических процессов и нового листопрокатного оборудования.

В дипломном проекте студент должен предложить основные технические решения, позволяющие выбрать способ производства листопрокатной продукции из алюминиевых сплавов, обосновать эти решения, произвести выбор основного и вспомогательного оборудования и рассчитать его количество. Также необходимо спланировать структуру цеха, режим его работы, уровень механизации и автоматизации производства листового проката, разработать планировку проектируемого цеха, мероприятия по организации производства и безопасности жизнедеятельности, рассчитать технико-экономические показатели проектируемого листопрокатного цеха.



## ВВЕДЕНИЕ

Важная роль в укреплении и развитии технического потенциала страны принадлежит прокатному производству, являющемуся мощной заготовительной базой для производителей авиационной техники, для моторостроителей и создателей уникального оборудования, станков и приборов.

В авиационной промышленности прокатные цехи металлургических заводов специализируются на производстве листовых полуфабрикатов из различных алюминиевых сплавов. Листопрокатные цехи оснащены высокопроизводительным крупногабаритным оборудованием, установленным в единую технологическую линию. Широкое использование автоматизированных комплексов и применение ЭВМ при проектировании технологического процесса и контроля над его реализацией обеспечивает не только снижение энерго- и материалоемкости производства и интенсификацию технологического процесса, но и дает коренное улучшение качества, увеличение выпуска эффективных видов металлопродукции.

Прокатное производство является завершающим звеном металлургического цикла. Оно включает в себя отливку заготовок, подготовительные операции, последующую прокатку и отделочные операции.

Продукция листопрокатного производства в настоящее время применяется широко не только в авиации, но и в машиностроении, судостроении, при производстве конденсаторов, в консервной промышленности, производстве баночной тары. К алюминиевому прокату, особенно тонколистовому, предъявляются особые требования как по геометрическим размерам, так и по механическим свойствам.

Прокатка листов и плит осуществляется в рабочих клетях прокатных станов на цилиндрических валках с гладкой поверхностью. Заготовкой служит плоский слиток. Прокат, который используется на втором и последующих проходах прокатки, называется подкат. Валки расположены горизонтально, параллельно друг другу, приводятся во вращение принудительно электромеханическим приводом. Ролики, которые перемещают слиток к рабочей клетке, называются рольгангом. Металл заготовки захватывается вращающимися навстречу друг другу валками за счет сил трения, возникающих на контактной поверхности между валками и заготовкой при выполнении определенных

соотношений между толщиной заготовки, толщиной проката и радиусом деформирующего вала.

На рис. 1 показано, что в очаге деформации длиной  $l$  осуществляется уменьшение толщины заготовки  $h_0$  до толщины  $h_1$ . Толщина проката  $h_1$  определяется зазором между валками на просвет (раствор валков). При уменьшении толщины проката незначительно увеличивается его ширина от  $B_0$  до  $B_1$  и интенсивно увеличивается его длина по направлению прокатки. Это происходит по закону наименьшего сопротивления, т.к. длина очага деформации  $l$  значительно меньше, чем длина вала. Обычно прокатка с толщины заготовки  $h_0$  до конечной толщины полосы  $h_k$  производится за несколько проходов прокатки.

Различают горячую и холодную листовую прокатку.

Горячей прокаткой называют прокатку, осуществляемую при температурах  $T_{np} = (0,7 - 0,9)T_{пл}$  выше температуры рекристаллизации  $T_{рекр} = 0,4T_{пл}$  материала заготовки, где  $T_{пл}$  – температура плавления.

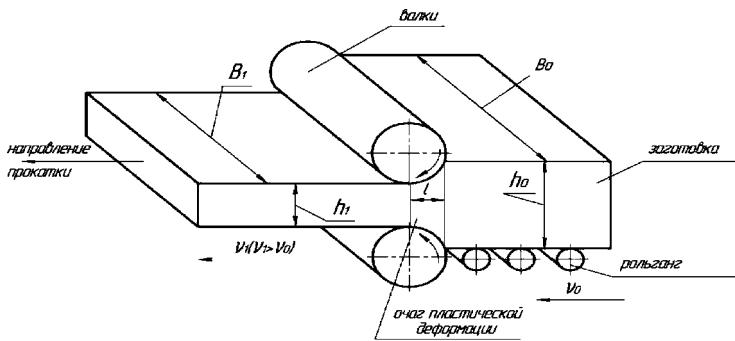


Рис. 1. Схема листовой прокатки

Любая пластическая деформация металла сопровождается упрочнением (деформация упрочнения – нагартовка). Однако, если предварительно нагреть заготовку до температуры выше температуры рекристаллизации, то в процессе пластической деформации такой заготовки упрочнение ощущаться практически не будет, т.к. одновременно с процессом упрочнения в металле протекают процессы разупрочнения.

Для горячей прокатки температура нагрева заготовки назначается следующим образом:

1. Из диаграммы состояния материала определяют максимально допустимую температуру нагрева  $T_{\max} = 0,9T_s$ .

2. Из диаграммы пластичности определяют интервал температур, который соответствует максимальной пластичности для данного материала и минимальному сопротивлению деформации.

3. Устанавливают правильные соотношения между степенью деформации в последнем проходе горячей прокатки и соответствующей температурой для обеспечения мелкозернистой структуры проката. Для этого используют диаграмму рекристаллизации.

Заготовкой для горячей прокатки обычно служит плоский слиток, отлитый в специализированной литейной машине. При этом применяются два вида кристаллизаторов: кристаллизатор скольжения (КС), либо электромагнитный кристаллизатор (ЭМК).

Горячая прокатка имеет существенное преимущество перед холодной. Она менее энергоемка, реализует большие суммарные деформации, не требует промежуточных отжигов. Однако горячая прокатка ограничена толщиной проката. Минимальная толщина горячекатаных листов  $\sim 3 \dots 3,5$  мм.

Меньшую толщину горячего проката получить нельзя, так как из-за интенсивного и неравномерного охлаждения полосы на роллганге невозможно обеспечить равномерное распределение механических свойств по всему объему металла и, как следствие, заданную разнотолщинность по длине и ширине полосы. Поэтому алюминиевый прокат меньше 3мм получают методом холодной прокатки при температурах от 20 до 50 градусов.

При холодной прокатке металл подвергается деформационному упрочнению (наклепу, нагартовке). При достижении допустимой для каждого сплава суммарной степени деформации прокат необходимо подвергать рекристаллизационному отжигу для восстановления пластических свойств. Таким образом, технологический процесс холодной прокатки листов от начальной толщины до конечной часто сопровождается промежуточными отжигами. Необходимость проведения промежуточного отжига определяется исходя из величины суммарной степени деформации и величины степени деформации, допус-

тимой для данного материала, которая ограничивается диаграммой упрочнения.

Листовую прокатку осуществляют в рабочих клетях прокатных станов.

Рабочая клеть – это основное оборудование прокатного стана (рис. 2). Она включает в себя два рабочих валка с гладкой цилиндрической поверхностью, установленных в вертикальной плоскости параллельно друг другу. Оси валков расположены горизонтально, то есть параллельно полу цеха. Валки размещаются в подшипниках, которые через промежуточный элемент (подушки валков) установлены в двух вертикально стоящих станинах.

В зависимости от количества валков рабочие клетки классифицируются на двухвалковые («Дуо»), трехвалковые («Трио»), четырехвалковые («Кварто») и многовалковые клетки. Как правило, деформирующие валки бывают приводными.

Прокатный стан представляет собой совокупность рабочих клеток, установленных в определенном сочетании, соединенных между собой передающими механизмами (рольгангами) и имеющих дополнительное оборудование (например: гильотинные ножницы, дисковые ножницы, моталки и т.д.).

В зависимости от расположения рабочих клеток прокатные станы классифицируются следующим образом:

1. *Последовательный стан.* Здесь рабочие клетки установлены последовательно, одна за другой, с увеличивающимся между ними расстоянием. При этом заготовка прокатывается последовательно в каждой клетке. Клетки работают независимо друг от друга. Количество клеток бывает от двух и более.

2. *Непрерывный прокатный стан.* Здесь клетки установлены одна за другой на одинаковом расстоянии. В процессе прокатки заготовка деформируется одновременно во всех клетях, причем, в каждой со своим значением обжатия. В каждой последующей клетке скорость вращения валков больше, чем в предыдущей. При этом необходимо выполнить условие: скорость выхода полосы из предыдущей клетки должна быть равна скорости входа полосы в последующую клетку. В противном случае между соседними клетями будет наблюдаться либо обрыв полосы, либо образование «петель».

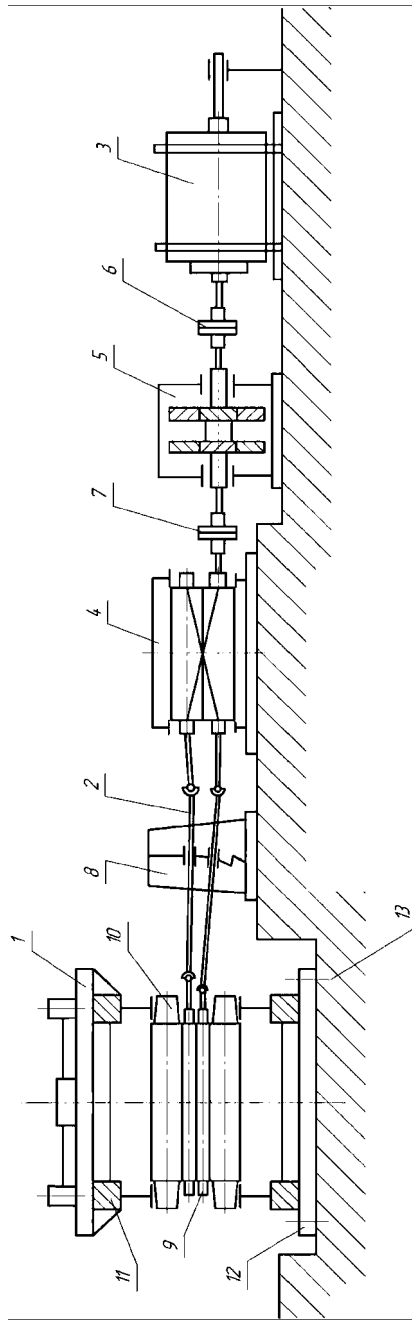


Рис. 2. Главная линия рабочей клетки: 1 – рабочая клетка; 2 – шпиндели; 3 – электродвигатель; 4 – шестеренная клетка; 5 – редуктор; 6 – моторная муфта; 7 – коренная зубчатая муфта; 8 – механизм уравновешивания; 9 – опорный валок; 10 – опорный валок; 11 – станна; 12 – плитовина; 13 – анкерные болты

3. *Полунепрерывный стан.* Это комбинация последовательного и непрерывного станов. Примером служит семиклетьевой полунепрерывный стан горячей прокатки кварто «2800».

Прокатное производство отличается от других видов производств тем, что в прокатных цехах применяются сложные комплексы механического оборудования, объединенные в специализированные линии. В прокатных цехах практически отсутствуют отдельно действующие виды оборудования. Механизированные линии, управляемые дистанционно как вручную, так и автоматически, представляют собой комплекс последовательно установленного основного и вспомогательного оборудования, обеспечивающего реализацию принципа поточности производства.

## **1 СОДЕРЖАНИЕ И ОБЪЕМ ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТА**

Дипломный проект прокатного цеха состоит из пояснительной записки объемом 80-120 страниц текста и графической части, состоящей из 7-12 листов, чертежей и плакатов формата А1. Дополнительно в составе проекта могут быть представлены планшеты, стенды, макеты, натуральные образцы и модели.

В комплект чертежей должны входить сборочные чертежи основного и вспомогательного прокатного оборудования (рабочие клетки, рольганги, ножницы, моталки и разматыватели, правильные машины и т.п.), планировка цеха, средства механизации и автоматизации, чертежи деформирующего инструмента: валки рабочие, опорные, материалы по спецтеме и т.д.

На плакатах отражаются результаты анализа состояния вопроса, методика и результаты аналитических и экспериментальных исследований, графические схемы разработанной технологии, результаты анализа экономической эффективности проекта.

Пояснительная записка дипломного проекта должна иметь следующие разделы и документы:

- ТИТУЛЬНЫЙ ЛИСТ;**
- ЗАДАНИЕ НА ДИПЛОМНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ;**
- РЕФЕРАТ;**
- СОДЕРЖАНИЕ;**
- ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ, СИМВОЛОВ С ИХ ОПРЕДЕЛЕНИЯМИ;**
- ВВЕДЕНИЕ;**
- ХАРАКТЕРИСТИКА ПРОЕКТИРУЕМОГО ЦЕХА;**
- СТРУКТУРА, СВОЙСТВА И ТЕРМООБРАБОТКА МАТЕРИАЛОВ;**
- РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ;**
- КОНСТРУИРОВАНИЕ ДЕФОРМИРУЮЩЕГО ИНСТРУМЕНТА;**
- ЭКОНОМИКО – ОРГАНИЗАЦИОННЫЕ РАСЧЕТЫ;**
- БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ;**

СПЕЦИАЛЬНАЯ ТЕМА;  
ЗАКЛЮЧЕНИЕ;  
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ;  
ПРИЛОЖЕНИЕ.

Их содержание должно соответствовать следующим требованиям.

*Титульный лист дипломного проекта* оформляется на типографском бланке и служит обложкой документа.

*Задание на дипломное проектирование* содержит:

- наименование выпускающей кафедры;
- гриф «УТВЕРЖДАЮ»;
- заголовок «ЗАДАНИЕ НА ...»;
- фамилию, инициалы студента и номер учебной группы;
- содержание задания;
- перечень и объем отчетных документов;
- календарный график выполнения работ;
- фамилию и инициалы консультантов.

Текст задания вписывается в бланк установленной формы.

На выполнение дипломного проекта дается следующее примерное типовое задание:

Проект прокатного цеха металлургического завода с годовой программой \_\_\_\_\_ тонн.

Типовое задание, как правило, дополняется спецтемой, т.е. указанием вопросов, подлежащих детальной разработке в проекте.

*Реферат дипломного проекта* содержит:

- заглавное слово РЕФЕРАТ (прописными буквами);
- сведения об объеме документа, который включает данные о количестве листов (страниц) и содержащихся в нем рисунков, таблиц, источников и приложений;
- перечень ключевых слов, которые отражают основное содержание документа. Перечень включает 5 ... 15 слов (словосочетаний), написанных в строку через запятые в именительном падеже прописными буквами;
- текст реферата, где отражается сущность выполненной работы (краткая характеристика проекта с указанием проектных реше-



ний и важнейших разработок в технологической, конструкторской частях и спецтеме). Объем текста – 500 ... 700 знаков.

*В содержании* последовательно перечисляются введение, заголовки разделов и подразделов, заключение, список использованных источников и приложения с указанием страниц, на которых помещены заголовки. Введение, заключение и список использованных источников не нумеруются. Заголовки разделов и подразделов снабжены номерами.

Слово «СОДЕРЖАНИЕ» пишется в виде заголовка прописными буквами, а наименование разделов и подразделов – строчными.

При наличии в тексте условных обозначений и сокращений необходимо дать их расшифровку перед основным текстом в виде перечня сокращений и условных обозначений. Сокращения и условные обозначения должны быть единообразными во всем тексте и соответствовать действующим нормативным документам. При отсутствии указанного перечня все не общепринятые сокращения и условные обозначения следует пояснить в тексте при первом упоминании.

Обозначения физических величин должны сопровождаться указанием размерности в СИ.

*В разделе «Введение»* на основе изучения литературы кратко освещаются следующие вопросы:

- место и роль процессов производства листовых полуфабрикатов в системе народного хозяйства России;
- краткая история развития прокатного производства листовых полуфабрикатов из алюминиевых сплавов;
- роль российских ученых и инженеров в развитии и совершенствовании теории и технологии прокатки;
- характеристика современного состояния решаемой проблемы и перспективы ее развития в России и за рубежом;
- цель и задача дипломного проекта и его связь с целями и задачами машиностроения, металлургии и других областей, использующих технологические процессы обработки металлов давлением;
- обоснование актуальности и реальности темы дипломного проекта, преимущества предлагаемых мероприятий, значение ре-

жима экономии сырья, материалов, электроэнергии, автоматизации и механизации для повышения рентабельности и прибыльности работы проектируемого цеха.

Объем 1... 2 с.

*В разделе «Характеристика проектируемого цеха»* должны быть отражены следующие вопросы:

- назначение и характеристика проектируемого цеха, отрасль промышленности проектируемого цеха;
- исходные данные для проектирования (номенклатура и программа годового выпуска листовых полуфабрикатов), классификация, выбор и описание типовых представителей, технические условия на продукцию, выпускаемую цехом, материалы, область их использования;
- выбор и обоснование типа производства (массовое, крупносерийное, серийное, мелкосерийное), связь проектируемого цеха с другими цехами и службами металлургического завода;
- обоснование выбора места расположения завода, в состав которого входит проектируемый цех.

Объем 1... 2 с.

*В разделе «Структура, свойства и термообработка материалов»* должны быть освещены следующие типовые вопросы:

- Краткая характеристика применяемых алюминиевых сплавов (химический состав, роль компонентов и примесей, диаграммы состояния, пластичности и упрочнения, механизм фазовых превращений, литейные и физико-механические свойства, обрабатываемость сплава).
- Требования к исходной структуре заготовок, обеспечивающей высокую технологичность. Разработка режимов предварительной и промежуточной термической обработки алюминиевых сплавов.
- Фазовый состав и структура сплава в равновесном состоянии.
- Формирование структуры и свойства при горячей и холодной прокатке, и обоснование технологических режимов.

- Разработка режимов окончательной термической обработки, гарантирующих заданный технологическими условиями уровень физико-механических свойств готовых листовых полуфабрикатов.

Этот раздел дипломного проекта по своему содержанию должен быть тесно связан с разрабатываемыми процессами. В него должны войти только те вопросы (характеристика металла, его состав и т.д.), которые необходимы для проектирования конкретных техпроцессов.

Объем 10... 15 с.

*В разделе «Разработка технологических процессов»* подробно разрабатываются технологические процессы изготовления не менее трех типовых представителей листовых полуфабрикатов из двух и более сплавов разных групп. В качестве исходных данных служат габаритные размеры листовой продукции, технологические условия и базовая (действующая) технология её изготовления.

При разработке технологических процессов производства листовых полуфабрикатов из алюминия и алюминиевых сплавов следует руководствоваться следующими направлениями развития обработки металлов давлением: снижением энерго- и материалоемкости производства, интенсификацией процессов горячей и холодной прокатки, развитием автоматизации и механизации операций, использованием автоматизированных и роботизированных комплексов и линий, гибких производственных систем металлообработки.

Объем 30 ... 45 с.

*Раздел «Конструирование деформирующего инструмента»* посвящён разработке рабочих чертежей конструкций инструмента для горячей и холодной прокатки. Главными требованиями к инструменту являются: высокая стойкость, долговечность в эксплуатации. Инструментами для прокатки листов являются опорные и рабочие валки.

При этом устанавливаются конструктивные размеры валков, производится их расчет на прочность, а также выбор материала инструмента и режимов его термообработки. Затем вычерчиваются валки в целом с указанием всех необходимых размеров, чистоты обработки и технических условий на изготовление.

Объем 5 ... 10 с.

В общей трудоемкости дипломного проектирования *раздел «Экономико – организационные расчеты»* занимает от 15 до 20%. Из них 2/3 – расчеты по технико-экономическому проектированию цеха; остальное – экономическое обоснование новшества, разрабатываемого в проекте.

*Раздел «Безопасность жизнедеятельности»* выполняется в виде отдельной главы как неотъемлемая часть пояснительной записки. В ходе выполнения дипломного проекта студенту необходимо проанализировать технологический процесс или конструкцию и выделить опасные и вредные производственные факторы, на основе анализа которых нужно разработать мероприятия, снижающие до необходимых норм их воздействие на организм человека.

Объем 10 ... 15 с.

*«Специальная тема»* – это раздел проекта, в котором приведены углубленные разработки, выполненные дипломником по вопросам, непосредственно связанным с темой и направлением дипломного проекта. В спецтеме на основе анализа литературных источников, патентной проработки, разработки теоретических вопросов, конструкторских решений приводятся материалы, существенно дополняющие дипломный проект, показывающие широту, прочность и глубину знаний по данному конкретному вопросу, теоретическую мысль при разработке темы дипломного проекта.

Спецтема проекта должна содержать личный вклад студента в решение конкретной проблемы, находиться в тесной связи с остальными разделами проекта, разрабатываться с учетом экспериментальных данных, полученных студентом при работе в СНО, как результат теоретического или экспериментального изучения конкретного процесса или раздела обработки металлов давлением.

По своей сущности и структуре спецтемы могут выполняться по следующим направлениям: исследовательская, технологическая, конструкторская, посвященная вопросам механизации и автоматизации техпроцессов и оборудования, САПР ТП, смешанная.

Спецтемы дипломных проектов должны решать конкретную важную задачу и отражать запросы производства.

Примерное содержание спецтемы:

- состояние вопроса и постановка задачи исследований по спецтеме по имеющимся производственным данным и литературным источникам;
- патентные проработки по конкретной теме, составление обзора патентной литературы;
- сбор, обработка и обобщение производственных материалов и результатов промышленных и лабораторных экспериментов;
- результаты выполнения научно-исследовательских работ по заданию кафедры или завода;
- частичная или полная механизация и автоматизация основного или вспомогательного производства;
- нахождение конструктивных или технологических решений по применению и улучшению производственных процессов;
- изучение и анализ принятых вариантов конструкций деформирующего инструмента с приведением проверочных, прочностных и геометрических расчетов;
- обобщение опыта работы производства, подготовки рекомендаций и выводов по результатам проработки спецтемы.

Выбор направления спецтемы, а также структура и количество охватываемых ею вопросов осуществляется по предложению студента или рекомендации руководителя преддипломной практики от предприятия в период прохождения преддипломной практики. Спецтема обязательно согласуется с руководителем дипломного проекта и руководителем преддипломной практики от университета. Если спецтема носит исследовательский характер, то материалы по её выполнению могут быть получены до прохождения практики.

При выполнении таких спецтем целесообразно использовать экспериментальную базу университета, лабораторий цеха или завода.

Расчетно-пояснительная записка по данному разделу проекта должна содержать:

- анализ литературных данных по рассматриваемому вопросу;
- основные материалы, отражающие сущность спецтемы;
- расчеты и обоснования, подтверждающие экономическую и социальную эффективность выполненной работы;

- вывод и рекомендации;
- предложения по практической реализации полученных результатов.

Объем 8 ... 12 с.

*В графической части проекта* должны быть представлены чертежи, графики, таблицы, диаграммы и т.д., дающие исчерпывающее представление о проделанной работе и принятых решениях.

*В заключении* формулируются окончательные выводы, характеризующие итоги работы студента-дипломника по решению задач, поставленных в задании на выполнение дипломного проекта. Эти выводы представляются на основе сравнения технико-экономических показателей и социальных характеристик цеха, выбранного в качестве базового и проектируемого цеха.

Объем 1 ... 4 с.

*В список использованных источников* включаются книги, статьи, патенты и т.п., источники, сведения о которых располагаются в порядке их упоминания в тексте. Библиографическое описание источников дают в соответствии с требованиями СТО СГАУ [29].

Каждое *Приложение* должно начинаться с нового листа, на котором в правом верхнем углу написано слово «Приложение» и имеется тематический заголовок, например: «Технологические карты». Если в документе содержится более одного приложения, то приложения нумеруются заглавными буквами русского алфавита (например, приложение А). Иллюстрации и таблицы в приложениях нумеруются в пределах каждого приложения.

Пояснительная записка должна быть напечатана на стандартных листах формата А4 в соответствии с требованиями СТО СГАУ. Текст располагается на одной стороне листа писчей белой бумаги. Размер левого поля не менее 30 мм, правого не менее 10 мм, верхнего и нижнего не менее 20 мм. Выравнивание текста справа не требуется.

Основным способом заполнения записки является компьютерный набор. Цвет текста должен быть черным, высота букв, цифр – не менее 1,8 мм (кегель не менее 12, рекомендуется 14). Расстояние между строками – 1,5 интервала.

Нумерация листов пояснительной записки сквозная с учетом таблиц и рисунков, выполненных на отдельных листах. Бланки титульного листа и задания не нумеруются, но их порядковый номер (1, 2) подразумевается. Номера страниц проставляются арабскими цифрами в середине нижней части листа без точки.

Записка представляется в переплётё.

Иллюстрации должны иметь порядковый номер и подрисовочные подписи, на каждую иллюстрацию приводится соответствующая ссылка в тексте. Текст пояснительной записки может содержать итоговые таблицы расчёта технологических параметров. Таблицы с исходными первичными данными помещают в конце пояснительной записки (приложение). Все расчёты приводятся полностью, а для однородных расчётов достаточно таблиц с окончательными данными.

Рисунки и чертежи распечатываются на плоттере в соответствии с требованиями Единой системы конструкторской документации (ЕСКД).

На листах могут быть выполнены:

- сборочные чертежи основного и вспомогательного оборудования (рабочие клетки прокатных станов, рольганги, ножницы и пилы, правильные машины, моталки и разматыватели, шпиндели, муфты, шестерённые клетки и редукторы);
- планировка участка цеха;
- детализовка клетки прокатного стана (валки рабочие и опорные, станины рабочих клетей, подшипники и подушки валков);
- устройства механизации и автоматизации.

Окончательно графический материал, который будет представлен на листах, уточняется с консультантом проекта.

## 2 СУЩНОСТЬ ПРОЦЕССА ПРОКАТКИ И АНАЛИЗ ОЧАГА ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ

Вдоль очага деформации металл течет неравномерно, что подтверждают эпюры скоростей течения металла в различных сечениях (рис. 3). При установившемся процессе прокатки все слои металла в сечении 1-1 движутся к валкам со скоростью  $V_0$ , которая меньше, чем горизонтальная составляющая окружной скорости вала в точке  $A$ . Деформация отсутствует, так как это недеформируемая зона.

Горизонтальная проекция окружной скорости вала в точке  $A$ :

$$v_A = V_0 \cos \alpha, \quad V_0 < v_A. \quad (5)$$

В сечении  $AA_1$  поверхность вала движется быстрее, чем металл. Однако поверхностные слои заготовки увлекаются за поверхностью вала в направлении прокатки за счет активных сил трения, поэтому их скорость перемещения вдоль оси прокатки больше, чем скорость перемещения центральных слоев. Эюра скоростей в сечении  $AA_1$  имеет вогнутый вид.

Таким образом, периферийные слои металла текут быстрее, чем центральные.

Такой вид эпюры характерен для всей зоны отставания, вплоть до нейтрального сечения  $NN_1$ .

В нейтральном сечении  $NN_1$  скорость течения всех слоев металла одинакова и равна горизонтальной проекции окружной скорости вала  $v_{NB} = V_0 \cos \gamma$ . Здесь металл без деформации перемещается вместе с поверхностью вала. Эюра скорости – прямоугольник.

В сечении  $BB_1$ , как во всей зоне опережения, металл течет быстрее, чем движется поверхность вала. Однако за счет реактивных сил трения на контактной поверхности скорость течения периферийных слоев меньше, чем скорость центральных. Эюра скорости выпуклая.

В сечении 2-2 эпюра скоростей – прямоугольник, так как это недеформируемая зона.



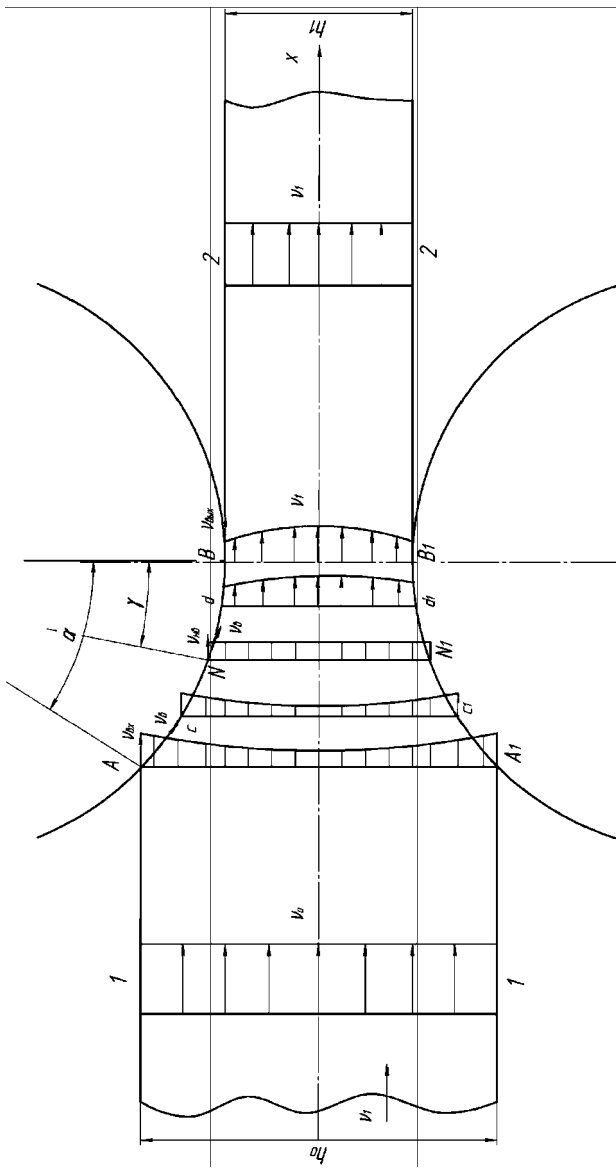


Рис. 3. Характер течения металла вдоль очага деформации [14]

Анализ течения металла показывает, что в зоне отставания и в зоне опережения на контактной поверхности  $AB$  найдутся две такие точки  $c$  и  $d$  вблизи точки  $N$ , в которых скорости течения металла поверхностных слоев будут равны скоростям движения поверхности валков, а скорости остальных слоев в сечении  $cc_1$  и  $dd_1$  будут отличаться от горизонтальной проекции окружной скорости валков.

Получается, что на всем участке  $cd$ , включая точку  $N$ , металл движется с одинаковой скоростью равной  $v_{HB}$ , то есть движется как бы «прилипая» к поверхности валка. А течение внутренних слоев осуществляется за счет их перемещения относительно поверхностных слоев.

Таким образом, контактная поверхность  $AB$  геометрического очага деформации при прокатке состоит из трех зон: две крайние зоны скольжения ( $AC$  – отставания,  $DB$  – опережения) и средний участок  $CD$  – прилипания (рис. 4).

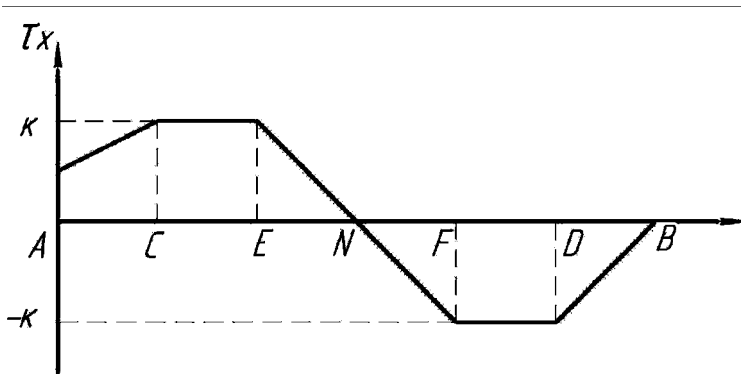


Рис. 4. Характер изменения сил трения вдоль контактной поверхности в очаге пластической деформации [27]

В точке  $C$  напряжение трения  $\tau_x$  достигает своего максимального значения. Здесь скольжение металла по поверхности валка прекращается и  $\tau_x = K$ . Это значение сохраняется на всем участке  $CE$  в зоне прилипания.

$$2K = \beta\sigma_s. \quad (6)$$

Так как в нейтральном сечении, то есть в точке  $N$ ,  $\tau_x = 0$ , то вблизи точки  $N$  найдутся еще две точки  $E$  и  $F$ , которые будут характеризовать следующее:

на участке  $CE$   $\tau_x = \text{const} = K$ ,

на участке  $FD$   $\tau_x = \text{const} = -K$ ,

на участке  $EF$ , в непосредственной близости к точке  $N$ , напряжения трения  $\tau_x$  меняются от  $+K$  до  $-K$ , причем в точке  $N$   $\tau_x = 0$ . Данный участок называется зоной заторможенной деформации или «мертвой» зоной [11].

## 3 РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА

Методом прокатки в зависимости от сплавов изготавливают:

- листы из алюминия и его сплава, не упрочняемые термической обработкой (мягкие);
- листы из алюминиевых сплавов, упрочняемые термической обработкой (твердые).

По состоянию поставки листы и плиты разделяют на горячекатаные без термической обработки (в конце обозначения сплава ставят индекс г/к), отожженные (М), полунагартованные (Н2), нагартованные (Н), закалённые и естественно состаренные (Т), закалённые и искусственно состаренные (Т1).

При выборе способа и варианта прокатки заданного сплава необходимо учитывать размеры и свойства готового изделия, технологичность сплава и мощности существующих прокатных станов [1-2, 9-12, 16, 18, 22- 25].

Возможны следующие варианты прокатки: горячая и холодная; рулонная или листовая; продольная или поперечная; на станах с клетями дуо, трио, кварто; прокатка с промежуточными отжигами; прокатка в реверсивных клетях, на полунепрерывных станах.

Наилучшие схемы и варианты прокатки отрабатываются длительное время в производственных условиях. Поэтому в дипломном проекте закладываются наиболее совершенные варианты и схемы отечественного и зарубежного прокатного производства. Выбранная схема прокатки детально обосновывается и сравнивается с другими возможными вариантами.

### 3.1 Анализ базового варианта маршрутной технологии листовой горячей прокатки и описание применяемого оборудования

#### *3.1.1 Отливка слитков*

Развитие процесса прокатки идёт по пути увеличения массы и размеров слитков. Крупный слиток позволяет более полно использовать мощность и производительность прокатных станов, и даже при относительно невысоком его качестве за счёт больших суммарных

обжатий можно получить высококачественный лист. Однако получить крупные слитки непросто, так как большое увеличение массы жидкого металла при литье крупных слитков приводит к значительному замедлению кристаллизации, в результате чего ухудшаются структура и свойства листового металла.

При непрерывном литье крупных слитков скорость кристаллизации металла увеличивается. Наиболее выгодная толщина слитков – 0,3...0,4 м, она является общепринятой. При литье мягких сплавов толщина слитков может достигать 0,6 м. Их ширина имеет тенденцию к непрерывному росту. Ширина слитков достигает 1,5...2,1 м, а длина слитка 2,5...6 м.

Основным дефектом, препятствующим отливке доброкачественных слитков, являются «горячие» трещины, возникающие при кристаллизации сплава, и «холодные» трещины, появляющиеся при охлаждении слитка до низких температур.

В настоящее время слитки изготавливают методом полунепрерывного литья, используя кристаллизаторы скольжения и электромагнитные кристаллизаторы, которые позволяют получить слитки с высоким качеством поверхности и структуры.

### *3.1.2 Гомогенизационный отжиг и резка слитков в меру*

Цель гомогенизационного отжига – уменьшение неоднородности слитка по химическому составу и снятие остаточных термических напряжений, возникающих при полунепрерывном литье. В результате гомогенизации происходит значительное увеличение пластичности слитка, что делает его более пригодным для горячей прокатки.

Высокие скорости охлаждения при полунепрерывном литье затрудняют процессы диффузии в твердой фазе, вызывая неравномерную кристаллизацию. Следствием ее является химическая и структурная неоднородность литого материала – внутрикристаллическая ликвация, резко снижающая пластичность слитка. Отсюда возникает необходимость гомогенизации слитков, которая уменьшает или полностью устраняет внутрикристаллическую ликвацию и способствует получению более однородной структуры сплава.

Кроме уменьшения структурной неоднородности, гомогенизация способствует уменьшению внутренних напряжений, возникающих в слитке при резком охлаждении, приводит к значительному росту пластических характеристик литого материала, влияет на конечные свойства листов после горячей прокатки, отжига или закалки, а также улучшает качество поверхности слитков [23].

Гомогенизация осуществляется путем нагрева слитка до температуры, близкой к линии солидуса (по диаграмме состояния сплава), длительной выдержки при этой температуре и медленного охлаждения.

Резку отлитых слитков в меру производят в литейном цехе дисковыми фрезами на специальной линии резки.

### *3.1.3 Фрезерование*

Ликвационные наплывы должны быть удалены с поверхности слитков, для чего слитки подвергают сплошной двусторонней фрезеровке со снятием с каждой стороны слоя толщиной  $0,012 \div 0,015$  м.

Фрезерование производится на фрезерной линии «Кновенагель», состоящей из двух станков для фрезерования малых и больших граней слитков.

Фрезерование слитков производится строго в соответствии с заданием, в котором указывается толщина и ширина слитка после операции.

В данном разделе необходимо описать порядок работы фрезерной линии «Кновенагель».

### *3.1.4 Мойка и сушка слитков*

Мойка и сушка проводится для удаления с поверхности слитка грязи и масла промывкой горячей водой температурой  $60 \dots 80^\circ\text{C}$  под давлением до 1000 кПа на моечно-сушильном устройстве (МСУ). МСУ состоит из группы насосов высокого давления, насосов низкого давления, насосов станции перекачки, трех резервуаров для воды, фильтров, насосов для откачки дренажа в подвалах, перекачных станций, контрольно-измерительной аппаратуры, разводки трубопроводов и коллекторов. В душирующей камере МСУ установлены два коллектора низкого давления и два коллектора высокого давления.

Вода после промывки слитков сливается по трубопроводам, проложенным в фундаменте, и поступает в резервуары станции перекачки. Там через систему фильтров насосы перекачивают воду в резервуар чистой воды. Вода подогревается путем прямого ввода пара через специальные коллекторы в чистой емкости и снова подается в сушильную камеру.

После промывки в сушильной камере слиток подается в сушильную камеру, где установлены два коллектора для сушки поверхности слитка сжатым воздухом. Промытые в МСУ слитки подаются по рольгангу на нагрев.

### 3.1.5 Плакирование слитков

Плакированию подвергают слитки из сплавов марок Д1, Д16, В95 и других, прокатываемые после нагрева с наложенными на них с обеих сторон планшетами из плакирующего материала (из алюминия АД1 или сплава АЦп). Плакирование позволяет защитить основной металл от коррозии и предохранить поверхность слитков от разрушения при горячей прокатке.

Плакирование (наложение планшетов на слиток) осуществляется на плакировочном агрегате, где на слиток сверху и снизу накладывают планшеты и специальными роликами загибают их края на боковые грани слитка. Ширина загнутой кромки планшета составляет 0,10 ... 0,12 м. Для получения технологической плакировки листа ширина планшета равна ширине слитка. Толщина планшета рассчитывается исходя из толщины слитка и требуемой величины плакируемого слоя.

Толщина планшета  $h_{пл}$  может быть ориентировочно определена по формуле

$$h_{пл} = H_{сл} \cdot \delta / (80 - 2\delta), \quad (7)$$

где  $\delta$  – требуемая величина плакирующего слоя в процентах к толщине изделия:  $2\% \leq \delta \leq 8\%$ ;

$H_{сл}$  – толщина слитка, м.

### ***3.1.6 Нагрев слитков***

Процесс горячей прокатки заключается в обжати металла валками в области температур выше рекристаллизационных. При выборе температур горячей прокатки необходимо учитывать фазовые превращения, которые происходят в сплаве при этих температурах и заданных степенях деформации, чтобы при прокатке возможно более полно могла пройти рекристаллизация сплава. Время нагрева сплава должно быть такое, чтобы обеспечить равномерный прогрев слитка по всему сечению. Длительный нагрев может привести к повышенному окислению поверхности слитка.

Верхний и нижний пределы температурного интервала горячей прокатки сплава находят исходя из его диаграммы пластичности. В этом интервале сплав должен иметь наиболее благоприятные пластические свойства. Также по диаграмме состояния определяется верхний предел интервала деформирования. Температура должна быть ниже температуры плавления легкоплавких эвтектик во избежание пережога.

Для нагрева слитков используются электрические печи с шагающими балками.

Выгрузка слитков производится с помощью напольных машин безударной выгрузки. Слитки, выгруженные из печи, по рольгангу передаются к реверсивным клетям для проката.

Одновременно на рольганге между печами и реверсивной клетью может находиться не более четырех слитков.

### ***3.1.7 Горячая прокатка***

Горячая прокатка представляет собой головную операцию в технологическом цикле производства листовых полуфабрикатов из алюминиевых сплавов. Горячей прокаткой изготавливают листы и плиты. Основная же часть продукции поступает в виде рулонов толщиной  $(2,5 \dots 10) \cdot 10^{-3}$  м для дальнейшей холодной прокатки.

Для горячей прокатки применяют одноклетьевые, двухклетьевые и полунепрерывные станы. Полунепрерывные станы горячей прокатки значительно производительнее и позволяют использовать слитки большой массы. В состав полунепрерывных станов входят одна или



две реверсивные черновые клетки с эджерами, одни или двое ножниц и непрерывная чистовая группа клетей. Число чистовых клетей составляет от трёх до шести, причём трёхклетевые группы предпочтительнее расширять до пятиклетевых.

Современные полунепрерывные станы горячей прокатки характеризуются раскатными полями значительной протяжённости для обеспечения прокатки слитков большой массы.

Технические характеристики станов горячей прокатки представлены в табл.1. Основным видом клетей являются клетки кварты.

В состав станов горячей прокатки входят эджерные клетки, направляющие линейки, поворотные столы, толкатели, ножницы, рольганги, моталки и т. д.

Горячая прокатка ведётся поперечным способом (поперёк литейной оси сляба) до толщины  $(5 \dots 10) \cdot 10^{-3}$  м на реверсивных станах и продольным способом до толщины  $(2,5 \dots 10) \cdot 10^{-3}$  м на полунепрерывных станах.

Важнейшая характеристика процесса прокатки – степень обжатия. Будучи неразрывно связана с температурой и скоростью, она определяет качество продукции и производительность стана.

При использовании семиклетьевого полунепрерывного стана на первых проходах горячей прокатки степень деформации составляет 2...4%, так как слиток имеет литую крупнозернистую структуру, низкую пластичность и при больших степенях деформации может треснуть. При прокатке слитков с наложенными планшетами на первых проходах прокатки смазывающе-охлаждающая жидкость на валки и слиток не подается, то есть прокатка производится «всухую». При этом коэффициент трения равен 0,5.

Последующие проходы прокатки осуществляют с постепенным увеличением степени деформации от прохода к проходу до достижения максимально допустимого значения степени деформации для данного сплава. В последней клетки пятиклетевой непрерывной группы рекомендуется назначать степень деформации 10 ... 20% – это калибровочный проход прокатки. Рекомендуемая схема распределения обжатий по проходам горячей прокатки представлена на рис.5.

Т а б л и ц а 1. Характеристики станов горячей прокатки

Группа клетей	Диаметр рабочих валков, м	Диаметр опорных валков, м	Длина бочки валка, м	Конечная толщина, $10^{-3}$ м	Максимальная скорость прокатки, м/с	Допустимое усилие прокатки, МН	Номинальный момент прокатки, кН·м	Мощность главного привода, кВт	Длина раскатного поля между чистой и черновой группами, м
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Двухклетевой стан горячей прокатки									
Черновая клеть	0,920	1,525	3,7	5 ... 60	2,5	-	-	2x1120	-
Чистовая клеть	0,914	1,525	2,1	5 ... 10	-	-	-	1200	-
Полунепрерывный семиклетевой стан горячей прокатки									
Черновая клеть №1	0,75	1,40	2,80	100...200	1,5	30	1040	6400	-
Черновая клеть №2	0,75	1,40	2,80	20... 90	1,5	30	1040	6400	-
Чистовая клеть №3	0,65	1,50	2,80	-	-	30	-	4200	60
Чистовая клеть №4	0,65	1,50	2,80	-	-	30	-	4200	60
Чистовая клеть №5	0,65	1,50	2,80	-	-	30	-	4200	60

Продолжение табл. 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Чистовая клеть №6	0,65	1,50	2,80	-	-	30	-	4200	60
Чистовая клеть №7	0,65	1,50	2,80	3 ... 8	5	30	-	4200	60
Стан горячей прокатки фирмы Алюнорф (Германия)									
Черновая клеть №1*	0,965	1,525	4,32	100... 200	3	50	2x3250	2x5000	-
Черновая клеть №2	0,93	1,525	3,30	20... 69	3	50	2x2600	2x4000	-
Чистовая клеть №3*	0,76	1,525	3,05	-	-	50	3300	6000	250
Чистовая клеть №4*	0,76	1,525	3,05	-	3	50	1850	6000	-
Чистовая клеть №5	0,76	1,525	3,05	-	-	50	1360	6000	-
Чистовая клеть №6	0,76	1,525	3,05	-	-	50	890	6000	-
Чистовая клеть №7	0,76	1,525	3,05	2.5- 10	5,8	50	610	5000	-

\* Клетки стана горячей прокатки фирмы Алюнорф, не установленные, но предусмотренные в проекте.



Рис.5. Схема распределения обжатия по проходам прокатки

Процесс прокатки сопровождается неравномерностью деформации. Наиболее резко она проявляется на боковых кромках. Практически всегда при горячей прокатке увеличивается ширина проката, что вызывает образование продольных растягивающих напряжений в боковых гранях. На первых проходах наружные слои интенсивно уширяются и кромка получается вогнутой. Это также способствует ее расстрескиванию, поэтому для ликвидации вогнутости и для проработки структуры с целью повышения пластических свойств необходима деформация полосы в вертикальных валках (эджеровка). Величина эджеровки назначается так, чтобы полоса приобретала свой первоначальный размер по ширине.

В первой реверсивной клетке производится несколько проходов, которые сопровождаются двойными эджерными проходами, затем металл прокатывается во второй реверсивной клетке. После этого гильотинными ножницами обрезаются торцевые концы полосы (для исключения явления серповидности при прокатке в непрерывной группе) и полоса подается в пятиклетьевую непрерывную группу.

После этого обрезаются боковые кромки полосы дисковыми ножницами, и полоса сматывается в рулон или полоса подается на линию резки толстых листов (плит). Также обрезаются передний и задний концы полосы.

### ***3.1.8. Обработка продукции на линии резки толстых листов***

Оборудование линии резки толстых листов предусматривает два варианта резки:

- из полос, принятых на рольганге за пятиклетьевой группой и передаваемых на линию резки шлепперным устройством;

- из полос, нарезанных из рулона на участке размотки.

Резка полос на плиты производится на гильотинных ножницах «Н-25» с нижним резом. Обрезка боковых кромок листов (плит) производится дисковыми ножницами.

Работа на линии состоит из следующих операций:

- передача полосы с основного рольганга стана на рольганг линии резки при помощи шлепперного устройства;

- центровка полосы;

- обрезка переднего конца полосы;

- резка полосы на мерные листы (плиты);

- отбор заготовок под образцы и их клеймение;

- обрезка боковых кромок листов (плит);

- укладка листов (плит) на поддон;

- оформление документации.

Резка переднего и заднего концов полосы производится до полного удаления суженной части полосы и расслоений. Порезанные в меру листы и плиты укладываются на поддон листоукладчиком.

### ***3.1.9. Смотка в рулон горячекатаной полосы на подпольную моталку***

Для смотки прокатанных полос в рулон используются две моталки подпольного типа. Смотка в рулон осуществляется на первую моталку, смотка на вторую моталку производится в аварийных ситуациях (когда неисправна первая моталка).

Для обеспечения устойчивого захвата полосы скорость вращения барабана моталки на 25... 30% выше скорости вращения рабочих валков последней клетки стана.

Вначале процесса смотки барабан моталки разжат, верхняя проводка опущена, нижние проводки сведены, поворотная опора подведена к моталке, захлестыватель подведен. Полоса подается и захватывается барабаном, начинается наматывание. После намотки трех витков захлестыватель отводится. По окончании смотки рулон устанавливается так, чтобы конец внешнего витка находился вверху. Под барабан моталки подводится сниматель рулонов. Поднимается подь-

емный стол до упора роликами в рулон и остается в этом положении. Прижимной ролик поднимается. Поворотная опора отводится. Барабан сжимается. Сниматель рулонов вывозит рулон от моталки в зону обвязки. Рулон обвязывается.

Обвязанные вязками рулоны тележкой устанавливаются на конвейер и транспортируются на промежуточный склад.

### *3.1.10 Резка рулонов на листы на линии непрерывной резки полос толщиной 1,5 ... 6,0 мм*

Транспортирование рулонов к линии резки осуществляется с помощью автомашин с платформами с погрузкой мостовыми кранами.

Размотка и предварительная резка горячекатаных рулонов на полосы осуществляется на специализированной линии поперечной резки полос 1,5...6,0мм.

На этой линии непрерывной резки производится резка переднего и заднего конца полосы, обрезка боковых кромок, их измельчение и транспортирование в короб или банку, правка полосы, резка на листы. Порезанные в меру листы укладываются на поддон листоукладчиком.

При необходимости сдачи листов в горячекатаном состоянии, как окончательной продукции, их здесь же подвергают клеймению и промасливанию, производят отбор образцов для механических испытаний, упаковывают в пакеты.

Температура металла в рулоне перед обработкой на линии непрерывной резки полос толщиной 1,5...6,0 мм не должна превышать 40°С. Кроме того удаляются загрязнения в виде пыли, грязи, масла, эмульсии и т.д. с наружного и внутреннего витков и торцов рулона.

Контролю подлежат следующие параметры: толщина, ширина, длина листов, качество поверхности, неплоскостность, качество торцов листа и боковых кромок. Контроль качества поверхности верхней стороны полосы производится визуально после ножниц в процессе размотки рулона. Контроль качества поверхности нижней стороны полосы производится визуально по поверхности образцов, предназначенных для механических испытаний, или по поверхности верхнего листа в стопе листов.

### *3.1.11 Термическая обработка (виды)*

#### *3.1.11.1 Отжиг в электрических печах садового типа*

Печи с выкатным подом для отжига и старения листов и плит являются печами с воздушной циркуляцией, которая осуществляется девятью вентиляторами в направлении поперечной оси печи. Воздух нагревается девятью группами калориферов.

Измерение, регулирование и контроль температуры воздуха по зонам печи осуществляется с помощью термоэлектрических преобразователей (термопар) и прибора, класс точности которого не ниже 0,5 с пределом измерений 0... 600 °С.

#### *3.1.11.2 Закалка в конвейерном агрегате листовой закалки (КАПЗ)*

Закалка алюминиевых листов заключается в том, что лист нагревают до требуемой температуры и выдерживают при ней для наиболее полного образования пересыщенного твердого раствора. При нагреве под закалку протекает процесс растворения упрочняющих элементов и фаз в алюминии. Продолжительность выдержки при нагреве под закалку обуславливается, главным образом, скоростью процессов растворения легирующих элементов и фаз, то есть скоростью диффузии легирующих элементов в алюминии. При быстром опускании листа в закалочный бак с водой при температуре закалочной среды фиксируется полученный пересыщенный твердый раствор на основе алюминия, устойчивый при высоких температурах и способный к последующему старению. При старении, например, в процессе выдержки при комнатной температуре (естественное старение для сплава Д16), происходит изменение пересыщенного твердого раствора за счет выделения из него упрочняющих фаз. В результате получают листы с высокими механическими свойствами, соответствующими требованиям нормативной документации. Аналогичный процесс старения происходит при повышенных температурах (искусственное старение для сплава В95). Нагрев под закалку и закалка листов из алюминиевых сплавов осуществляются в конвейерном агрегате листовой закалки (КАПЗ).

### ***3.1.12 Прогладка***

Прогладка проводится на одноклетьевом прогладочном стане с полированными валками за один проход. Обжатие составляет 0,5...1,5%.

Цель – получение качественной гладкой и блестящей поверхности.

### ***3.1.13 Обработка продукции на линии резки тонких листов***

Листы правят растяжением. Эта операция производится на правильной растяжной машине усилием 10МН с гидроприводом.

При правке растяжением деформация листа по длине задается 2,0%.

В процессе правки происходит утяжка листа по ширине.

После правки растяжением листы подаются на линию окончательной резки листов. Непосредственно резка длины производится сдвоенными гильотинными ножницами Н-25, усилием 25МН, где резка осуществляется одновременно на переднем и заднем концах листа на величину до 0,1 м с каждой стороны.

Во время процесса резки отбираются образцы металла, которые проходят вместе с листами все последующие операции для контроля механических свойств. Обрезанные листы должны быть прямоугольными.

### ***3.1.14 Естественное или искусственное старение***

Естественное старение листов производится в стопах при комнатной температуре в течение нескольких суток выдержки. У сплавов Д1 и Д16 максимальная прочность достигается через 4 суток.

Искусственное старение листов производится в стопах в садочных печах. Нагрев стопы листов в печи производится с зачеканеной контактной термопарой. Режим термообработки: температура в металле – 160°С, время выдержки – 20 часов.

Контроль механических свойств производится на образцах, отобранных при резке на ножницах Н-25 и состаренных вместе с основным металлом в печи.

### ***3.1.15 Контроль качества продукции***

Контроль качества поверхности и геометрических размеров осуществляется следующим образом: измеряется толщина в начале, сере-



дине и конце каждой полосы, при окончательной приемке – толщина каждой полосы в одном-двух местах. Одновременно с измерением толщины полосы производится визуальный осмотр качества поверхности верхней стороны полосы. Контроль прямолинейности продольной кромки (серповидность), прямолинейности (разность диагоналей) полосы производится после ее выемки из стопы и укладки каждой стороной на плоскую контрольную плиту. При отсутствии требований на прямолинейность продольной кромки отклонение от прямолинейности не должно превышать  $8 \cdot 10^{-3}$  м для длины от 3,0 до 5,0 м.

Контроль по механическим свойствам проводится на образцах, прошедших необходимую по технологии термическую обработку.

### ***3.1.16 Упаковка продукции***

Упаковка рулонов осуществляется на линии упаковки, где рулон обертывают в специальную бумагу для уменьшения коррозии во время перевозки с завода-изготовителя до заказчика. Листы и плиты покрывают консервирующей смазкой и обертывают промасленной бумагой. Смазанные с двух сторон листы и плиты перекладывают бумагой. Такие пакеты стягиваются струбцинами и укладываются в деревянные ящики. Оклейка поверхности листов и плит в значительной мере предохраняет их поверхность от повреждений при транспортировке и сохраняет высокое качество поверхности.

### ***3.1.17 Сдача на склад***

Осуществляется путем перевоза упакованных изделий на склад готовой продукции с оформлением сопровождающей документации и установкой необходимых информационных бирок на упакованные ящики.

### ***3.1.18 Утилизация отходов***

Отходами при горячей прокатке являются обрезанные кромки и обрезанные торцы полосы. При обрезке торцов и кромок они крошатся специальными устройствами – кромкокрошителями и собираются по сплавам в специальные контейнеры. Контейнеры складываются на специальном участке, откуда один раз в сутки они вывозятся.

### *3.1.19 Дефекты, возникающие при горячей прокатке*

При горячей прокатке основными дефектами являются механические повреждения, серповидность и выпуклость полосы, раскрытие слитков и растрескивание кромок, заалюминивание и несоответствие механических свойств горячекатаного материала заданным.

*Механические повреждения на поверхности полосы* (надиры, царапины, потертости) появляются в результате соприкосновения горячего металла с выступающими частями оборудования и инструмента, а также из-за отсутствия синхронизации скоростей вращения роликов рольганга и прокатных валков последней клетки. Надиры и потертости могут быть следствием серповидности, волнистости и недостаточно плотной смотки полосы.

*Надиры* на лицевой и обратной сторонах листов являются наиболее распространенным видом дефекта алюминиевого проката. Надиры на горячекатаной полосе возникают из-за разности скоростей движения полосы и вращения цилиндрических роликов рольганга, а также вследствие налипания металла на поверхность роликов. Основными средствами сокращения брака по надирам являются: содержание оборудования в нормальном рабочем состоянии, своевременная чистка роликов рольганга, смачивание роликов эмульсией, синхронизация скоростей движения полосы и вращения роликов, применение методов транспортировки, исключающих контакт листов с узлами технологического оборудования. К таким методам относится применение моталок с ременными захлестывателями, устанавливаемых на выходе полосы из последней клетки горячего стана, транспортировка листов на воздушной подушке.

*Серповидность* вызывает смещение витков рулона при смотке и транспортировке. Причиной серповидности полос служит неравномерный нагрев или перекося валков, в результате чего зазор между валками приобретает клиновидную форму. Серповидность может вызываться также смещением полосы относительно оси прокатки. Поэтому особое значение приобретает центрирование раската направляющими линейками.

*Волнистость* – следствие неравномерности обжатия по ширине полосы в результате несоблюдения постоянства давления по проходам, а также неравномерного разогрева или выработки прокатных

валков. Волнистость приводит не только к механическим повреждениям, но и отбраковке листов по выкатке. При волнистости листы, уложенные в стопы, повреждаются в местах соприкосновения при транспортировке и термической обработке. Неплотная смотка приводит к повреждениям на поверхности металла во время транспортирования рулонов и при размотке их перед холодной прокаткой. Чрезмерно плотная смотка также приводит к образованию поверхностных дефектов в результате местной сварки отдельных витков полосы под действием высоких температур металла и увеличенных давлений между витками рулона.

Однако, поскольку предпочтительно получать плотные рулоны, представляет интерес применение смазки полосы перед сверткой, для этого требуются специальные смазки, не снижающие качества полос при дальнейшей обработке.

*Брак по механическим свойствам* – следствие несоблюдения технологических режимов горячей прокатки, заданного интервала температур, схем обжатий и скоростей прокатки.

*Растрескивание кромок полосы* наблюдается при прокатке с несоблюдением режимов эджеровки и температурных режимов прокатки. Если эджеровка проводится с малыми обжатиями или заканчивается на больших величинах, то дальнейшая прокатка приводит к возникновению недопустимо высоких растягивающих напряжений в зоне кромок и, как следствие, к появлению на них надрывов.

*Раскрытие (расслоение) слитков* наблюдается при прокатке сплавов с низкими пластическими характеристиками при недостаточной проработке структуры по высоте. С целью уменьшения и исключения раскрытия слитков применяют специальную выпуклую форму передней грани слитка, которая служит своеобразным замком. Форма передней грани может быть овальной, уголковой или эллипсовидной.

*Заалюминивание.* В процессе прокатки алюминия и его сплавов при высоких температурах и давлениях создаются благоприятные условия для налипания алюминия и его окислов на валки. При дальнейшей прокатке эти налипсы закатываются в полосу и ее поверхность становится шероховатой с темными следами точечных закатов. Характер и величина заалюминивания зависят от прокатываемого сплава, температуры, обжатия и скорости прокатки, применяемой смазки.

Большое влияние на характер налипания оказывает качество шлифования валков. Установлено, что образованию этого дефекта способствует слишком грубое и слишком тонкое шлифование. Увеличение количества подаваемой при прокатке эмульсии способствуют снижению заалюминивания. Для борьбы с заалюминиванием применяют также механическую очистку валков.

### 3.2 Выбор основного оборудования

Из всех предлагаемых прокатных станов для поведения горячей прокатки листов из алюминиевых сплавов шириной до 2,5 м целесообразно использовать прокатный стан базового производства – непрерывный семиклетевой стан горячей прокатки «2800».

В состав стана горячей прокатки входит комплекс оборудования, состоящий из эджерной клетки, семи рабочих прокатных клеток, направляющих линеек, моталок, ножниц и т.д.

### 3.3 Выбор размеров слитка

Размеры слитка определяют технологические свойства данного металла при прокатке, размеры и назначение готовых листов, мощность и размеры основного оборудования. Рекомендуемые размеры слитков по толщине  $H_{сл}$  и длине  $L_{сл}$  для поперечной прокатки даны в табл. 2.

Т а б л и ц а 2 Рекомендуемые размеры слитков для поперечной прокатки

Марка сплава	Размеры слитка, м	
	Толщина, $H_{сл}$	Длина, $L_{сл}$
Д1, Д16	0,21 ... 0,30	1,45 ... 1,75
АМг3	0,25 ... 0,30	1,45 ... 1,75
АМг5	0,21 ... 0,30	1,45 ... 1,75
АМг6	0,21 ... 0,30	1,45 ... 1,75
АМц	0,25 ... 0,30	1,26 ... 2,00
АВ, АМг2	0,25 ... 0,30	1,26 ... 2,00
В95	0,25 ... 0,30	1,45 ... 1,75
Сплав всех марок	0,25 ... 0,30	1,26 ... 2,00

Ширина слитка выбирается исходя из ширины  $B_k$  готовой плиты или листа с учётом припуска  $K$  на ширину обрезных кромок, на возможное уширение и обжатие в эджерных валках:

$$B_{сл} = B_k + K,$$

где  $K = 0,04 \dots 0,06$  м для мягких сплавов,

$K = 0,06 \dots 0,12$  м для труднодеформируемых сплавов в зависимости от толщины и ширины полосы.

Чтобы исключить «раскрытие» слитка, переднюю и заднюю грани для высоколегированных сплавов типа Д16, В95 делают с заострением или полукруглыми.

При продольной рулонной прокатке ширина слитка выбирается из стандартного ряда с припуском, зависящим от марки сплава (табл. 3). Длина слитка выбирается максимально возможной с учётом ограничений, накладываемых печами нагрева слитков, раскатными полями стана горячей прокатки, максимальной массой рулона.

Т а б л и ц а 3 Рекомендуемые размеры слитков для продольной прокатки

Марка сплава	Толщина слитка, $10^{-3}$ м	Ширина слитка при ширине листа, м				
		1,00	1,20	1,50	1,80	2,00
Алюминий всех марок	400 – 600	1,04	1,26	1,56	1,86	2,06
Амц, ММ, АМг2, АМг3, АМг5, Д1, Д16, АК4-1, В95	400	1,08	1,30	1,60	1,90	2,10
АМг6, 1561	340	1,20	1,40	1,70	-	2,20

*Примечание:* слитки из алюминия и сплавов Амц, ММ, АМг2 толщиной более 0,4 м применяются на полунепрерывных станах типа стана фирмы Алюнорф, которые имеют мощные реверсивные клетки с большим диаметром рабочих валков, а также раскатные поля большой протяжённости.

### 3.4 Выбор режимов обжатий

Величина обжатия – важная характеристика процесса прокатки и, будучи связанной с температурой и скоростью, она определяет качество продукции, производительность стана. Большие обжатия умень-

шают неравномерность деформации, способствуют получению горячекатаных полос с неравномерной структурой и стабильными свойствами, существенно уменьшают возможность раскрытия слитка, обеспечивают высокую производительность. Обжатие в общем случае ограничивается: допустимым углом захвата  $[\alpha]$ ; полным давлением металла на валки  $P$ ; величиной момента прокатки  $M_{np}$ .

Величина относительного обжатия в каждом  $i$ -м проходе (рис. 6) определяется по формуле

$$\varepsilon_i = (\Delta h_i / h_{0i}) \cdot 100\%, \quad (8)$$

где  $h_{0i}$  – начальная толщина на входе в  $i$ -м проходе, м;

$i$  – номер прохода;

$\Delta h_i$  – абсолютное обжатие, м;

$$\Delta h_i = h_{0i} - h_i;$$

$h_i$  – конечная толщина на выходе в  $i$ -м проходе.

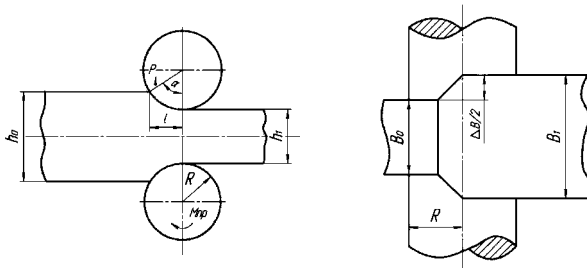


Рис. 6. Сечение очага деформации

Обжатие связано с вытяжкой  $\lambda_i$  (отношение длины полосы после прокатки  $L_{i1}$  к её исходной длине  $L_{0i}$ ) следующим образом:

$$\varepsilon_i = 1 - 1/\lambda_i, \quad (9)$$

$$\lambda_i = F_{i-1} / F_i. \quad (10)$$

Зная среднюю вытяжку за все проходы  $\lambda_{cp}$  ( $\lambda_{cp} \approx 1,3 \dots 1,4$ ), легко вычислить ориентировочно число проходов  $n$ , необходимых для прокатки полосы сечением  $F_0$  в полосу сечением  $F_K$ :

$$n = (\ln F_0 - \ln F_K) / \ln \lambda_{cp} \quad (11)$$

После определения числа проходов производят примерное распределение обжатий по проходам и клетям прокатного стана (табл. 4) до получения заданной конечной толщины  $h_k$ , исходя из начальной толщины заготовки  $h_0$ . Чаще всего распределение производят на основе существующего производственного опыта с учётом технологических факторов.

Т а б л и ц а 4. Примерная схема обжатий при горячей прокатке

Наименование клеток или группы клеток	Номер прохода, $t$	$H_i$ , $10^{-3}$ м	$h_i$ , $10^{-3}$ м	$\Delta h_i$ , $10^{-3}$ м	$\varepsilon_i$ , %
Первая реверсивная клеть	1	400	392	8	2,0
	2	392	384	8	2,0
	3	384	353	31	8,0
	4	353	307	46	13,0
	5	307	251	56	18,2
	6	251	195	56	22,3
	7	195	141	54	27,7
Вторая реверсивная клеть	8	141	95	46	32,6
	9	95	60	35	36,8
	10	60	32	26	43,3
Пятиклетевая непрерывная группа	11	32	18,2	13,8	43,2
	12	18,2	10,4	7,8	43,0
	13	10,4	6,0	10,4	43,1
	14	6,0	3,4	2,6	43,3
	15	3,4	3,0	0,4	11,8

По намеченным схемам обжатий подсчитываются технологические величины: исходная и конечная толщина для каждого прохода; средняя толщина; абсолютное обжатие; угол захвата; длина дуги захвата; отношение длины дуги захвата к средней толщине; уширение полосы; контактная площадь металла с валком; среднее удельное давление и величина полного давления металла на валки; момент прокатки.

Если при намеченной схеме обжатий величины  $\alpha$ ,  $P$ ,  $M_{np}$  не превышают допустимых значений, то она может быть оставлена без изменений. Если полученные значения  $\alpha$ ,  $P$  и  $M_{np}$  оказываются вы-

ше допустимых для данного стана, то производится повторный расчёт при меньшем значении абсолютного обжатия. Расчёты повторяются до получения допустимого или близкого к нему давления и момента по всем проходам.

Согласно исследованиям Е.С. Рокотяна схему обжатий целесообразно составлять таким образом, чтобы величина полного давления металла на валке была по возможности равномерной по всем проходам в пределах доверительного интервала  $\pm 0,25 P$ .

Иногда рекомендуется производить выбор обжатий по проходам с учётом максимального угла захвата. Рекомендуется также, в первых проходах при прокатке назначать обжатия в пределах 4...10 %, так как при больших деформациях  $\epsilon$  на боковых кромках возможно появление трещин из-за интенсивного уширения. При прокатке плакируемых сплавов для равномерной приварки планшето́в достаточны небольшие обжатия до 2...4%. В последующих проходах обжатие постепенно увеличивают до 30...45 % и более. Большие значения обжатия соответствуют «мягким» сплавам, меньшие – «твёрдым» сплавам. В последнем проходе с целью улучшения выкатки прокатки обжатие уменьшают до 10...20 %.

При распределении обжатий по проходам желательно, чтобы последний проход в каждой реверсивной клетки был нечётным.

Величина угла захвата находится по формуле

$$a_i \approx \sqrt{\Delta h_i / R_i} \leq [\alpha], \quad (12)$$

где  $R_i$  – радиус рабочего валка в  $i$ -м проходе, м.

Величина  $\alpha_i$  является контролируемым параметром. Предельно допустимые углы захвата металла валками при горячей прокатке алюминиевых сплавов  $[\alpha] = 10^\circ \dots 20^\circ$ , причём большие значения соответствуют прокатке «мягких» сплавов, меньшие – «твёрдым» сплавам.

По условию захвата целесообразно выбирать больший диаметр валков. Однако чем больше диаметр валков, тем больше удельное и полное давление, больше уширение. Поэтому при уменьшении сечения и абсолютного обжатия диаметр валка уменьшают.

В табл. 4 в качестве примера приведена схема обжатий при горячей прокатке полосы 0,003 x 1,300 м из сплава Д16 на полунепрерывном семиклетьевом стане «Алюнорф».



Для прокатки используется слиток 0,4 x 1,3 x 2,5 м с планшетами толщиной 0,01 м.

Горячая прокатка в черновой группе стана осуществляется по следующей схеме:

первая клеть – 0,400→0,392→0,384 (приварочные проходы) →0,353→0,307→0,251→0,195→0,141 м;

вторая клеть – 0,141 →0,095→0,060→0,032 м.

На толщинах 0,384, 0,307, м производится эджеровка в два прохода с обжатиями  $(5...7) \cdot 10^{-3}$  м за проход, то есть после 2-го и 4-го проходов прокатки.

Удаление переднего и заднего концов полосы производится на гильотинных ножницах. Далее полоса подается в непрерывную группу.

Прокатка в непрерывной группе производится по схеме: 0,032→0,018 →0,010→0,006→0,0034→0,003м.

Расчёт давления металла на валки производится по уравнению

$$P_i = p_{cp_i} F_{кi} \leq P_{\text{ан}}, \quad (13)$$

где  $p_{cp_i}$  – среднее удельное давление металла на валки, МПа;

$F_{кi}$  – площадь контакта металла с валком, м<sup>2</sup>.

$$F_i \approx l_i \frac{(B_{0i} + B_{1i})}{2}, \quad (14)$$

здесь  $l_i$  – длина дуги захвата, м;

$B_{1i}$  – ширина полосы после прохода прокатки, м;

$$B_{1i} = B_{0i} + \Delta b_i; \quad (15)$$

$$l_i \approx \sqrt{R_i \Delta h_i}; \quad (16)$$

$B_{0i}$  – ширина полосы перед проходом прокатки, м;

$\Delta b_i$  – уширение при прокатке (формула Бахтинова), м,

$$\Delta b_i = 1,15 \frac{\Delta h_i}{2h_{0i}} \left( l_i - \frac{\Delta h_i}{2\mu} \right), \quad (17)$$

где  $\mu$  – коэффициент трения при установившемся процессе прокатки.

Ориентировочно при горячей прокатке  $\mu = 0,30...0,40$ . В приварочных проходах прокатки (без применения смазки)  $\mu = 0,5$ .

Значение

$$P_{cp_i} = 1,15 \eta_{\sigma_i} S_{\sigma_i}, \quad (18)$$

где  $\eta_{\sigma_i}$  – коэффициент, учитывающий влияние напряжённого состояния;

$S_{\sigma_i}$  – истинное сопротивление деформации, МПа;

$$\eta_{\sigma_i} = \eta_{\sigma_i}' \eta_{\sigma_i}'' \eta_{\sigma_i}''', \quad (19)$$

здесь  $\eta_{\sigma_i}'$ ,  $\eta_{\sigma_i}''$ ,  $\eta_{\sigma_i}'''$  – коэффициенты, учитывающие соответственно влияние внешних сил, внешнего трения, подпора и натяжения.

При горячей прокатке  $\eta_{\sigma_i}''' = 1$ , так как подпор и натяжение отсутствуют.

$$\text{При } l_i / h_{cp_i} \leq 1 \quad \eta_{\sigma_i}' = 2 - \sqrt{\frac{l_i}{h_{cp_i}}}$$

$$\text{и } l_i / h_{cp_i} > 1; \quad \eta_{\sigma_i}' = 1,$$

где  $h_{cp_i}$  – средняя высота полосы в  $i$ -м проходе, м,

$$h_{cp_i} = (h_{0i} + h_{1i}) / 2.$$

$$\text{При } l_i / h_{cp_i} \leq 2 \quad \eta_{\sigma_i}'' = 1 + (\delta_i - 1) \frac{\varepsilon_i}{4 - 3\varepsilon_i},$$

$$\text{при } l_i / h_{cp_i} > 2$$

$$\eta_{\sigma_i}'' = \frac{1}{\Delta h_i} \left\{ \frac{h_{0i}}{\delta - 2} \left[ \left( \frac{h_{0i}}{h_{Hi}} \right)^{\delta - 2} - 1 \right] + \frac{h_{1i}}{\delta + 2} \left[ \left( \frac{h_{Hi}}{h_{1i}} \right)^{\delta + 2} - 1 \right] \right\},$$

$$\text{где } \delta_i = 2\mu l_i / \Delta h_i, \quad h_{Hi} = \sqrt{h_{0i} h_{1i}}; \quad h_{cp_i} = \frac{h_{0i} + h_{1i}}{2}.$$

Истинное сопротивление деформированию в каждом конкретном проходе прокатки с учетом неполного разупрочнения материала полосы можно получить из выражения

$$S_{\sigma_i} = \sigma_{SH} K_T K_{\varepsilon} K_u, \quad (20)$$

где  $K_T$ ,  $K_{\varepsilon}$ ,  $K_u$  – термомеханические коэффициенты влияния температуры, обжатия и скорости деформации соответственно;

$\sigma_{SH}$  – исходное значение предела текучести при начальных условиях:

$$T_H = 400^\circ\text{C}, \quad \varepsilon_H = 10\%, \quad u_H = 10\text{c}^{-1}.$$

При этих условиях термомеханические коэффициенты имеют значение:

$$K_T = K_\varepsilon = K_u = 1.$$

Величина  $\sigma_{SH}$  имеет следующие значения для некоторых алюминиевых сплавов: 35,5МПа – для АД1; 48,0МПа – для АМц; 90,5МПа – для Д16; 97,5МПа – для АМг5В; 105,0МПа – для АМг6.

Значения термомеханических коэффициентов для указанных сплавов в зависимости от значений  $T_i$ ,  $\varepsilon_i$  и  $u_i$  приведены в Приложении, где  $u_i$  – скорость деформации при прокатке в  $i$ -м проходе:

$$u_i = \frac{\ln \lambda V_{1i} (1 + \lambda)}{2\lambda \sqrt{R\Delta h_i}}, \quad (21)$$

где  $V_{1i}$  – скорость прокатки на выходе из валков.

Скорость деформации  $u_i$  при прокатке алюминиевых сплавов практически колеблется в пределах  $1 \dots 100\text{c}^{-1}$ . Наибольшие значения относятся к алюминию и малолегированным сплавам, наименьшие – к сплавам типа Д16, АМг6, В95.

В первых проходах не рекомендуется применять скорости прокатки  $V_i$  больше  $1,0 \dots 1,5$  м/с, особенно при больших обжатиях из-за интенсивного налипания, а также во избежание ударов и значительных выбросов.

При прокатке в непрерывной группе полоса находится во всех клетях одновременно, скорости прокатки должны быть синхронизированы:

$$V_{1i} = V_{0i} (1 + S_i), \quad (22)$$

где  $S_i$  – опережение при прокатке.

Оно определяется по формуле Эжелунда:

$$S_i = \gamma_{ni}^2 (R_i / h_{1i} - 0,5), \quad (23)$$

где  $\gamma_{ni}$  – нейтральный угол,

$$\gamma_{ni} = \alpha_i / 2(1 - \alpha_i / 2\mu). \quad (24)$$

При горячей прокатке алюминиевых сплавов значение  $S_i$  достигает 20%, а при холодной прокатке оно значительно меньше и изменяется в пределах от 0 до 5%.

Правильность определения  $S_{\partial i}$  при горячей прокатке связана также с установлением температуры проката  $T_i$  в каждом  $i$ -м проходе. Полоса, нагретая до определённой температуры, приобретает дополнительное тепло в результате пластической деформации и трения и отдаёт часть этого тепла валкам, эмульсии и воздушной среде. Разница между количеством тепла, приобретённого и отдаваемого, определяет температуру полосы  $T_i$  после прокатки:

$$T_i = T_{i-1} - (\Delta T_{\varepsilon_i} + \Delta T_{v_i}) - 1/2(\Delta T_{q_i} - \Delta T_{w_i}),$$

где  $\Delta T_{\varepsilon_i}$  – падение температуры за счёт теплоизлучения;

$\Delta T_{v_i}$  – падение температуры за счёт конвекции;

$\Delta T_{q_i}$  – падение температуры за счёт теплоотдачи;

$\Delta T_{w_i}$  – повышение температуры за счёт теплового эффекта.

Если известна температура начала  $T_{нач}$  и конца  $T_{кон}$  прокатки, то можно воспользоваться упрощённым вариантом расчета:

$$T_i = T_{i-1} - \Delta T,$$

$$\Delta T = (T_{нач} - T_{кон})/(n-5),$$

при этом  $T_{кон} = T_{непр}$ .

В табл. 5 приведена температура слитка  $T_{нач}$  перед прокаткой на полунепрерывном семиклетьевом стане и температура раската  $T_{непр}$  перед непрерывной группой стана для алюминиевых сплавов.

Момент прокатки подсчитывается по известной величине давления металла на валки:

$$M_{пр_i} = 2P_i\psi_i l_i \leq M_{дон}, \quad (25)$$

где  $\psi_i$  – коэффициент плеча приложения равнодействующей,

$$\psi_i = 0,5(1 + S_i)(h_{1i} / \Delta h_i)(\ln h_{0i} / h_{1i}). \quad (26)$$

Для ориентировочных расчётов А.И.Целиков рекомендует  $\psi \approx 0,5$  при горячей прокатке и  $\psi \approx 0,35...0,45$  при холодной прокатке [26].

**Т а б л и ц а 5** Температура горячей прокатки  
для алюминиевых сплавов, °С

Марка сплава	Вид прокатки	$T_{нач}$	$T_{непр}$
А1	Рулоны, листы	не менее 360	не менее 340
	Рулоны, листы для глубокой вытяжки	460 ... 500	не менее 420
	Листы 3-5мм в состоянии <i>H</i>	310 ... 380	320 ... 340
АМц	Рулоны, листы	460 ... 500	не менее 400
АМг2	-“-	450 ... 500	не менее 440
АМг3	Листы	420 ... 480	не менее 420
АМг5	-“-	410 ... 460	не менее 400
АМг6	Листы, плиты	400 ... 440	не менее 400
Д1, Д16	-“-	380 ... 430	не менее 360
В95	-“-	360 ... 390	не менее 350

Данные по расчёту первого прохода производятся полностью в пояснительной записке, а результаты дальнейших расчётов рекомендуется объединить в сводную табл. 6.

### **3.5 Описание технологического процесса горячей прокатки проектируемого цеха**

В данном разделе должны быть представлены три разработанных технологических маршрута для выбранной номенклатуры проектируемого цеха в соответствии с заданием на дипломный проект.

Описание маршрута изготовления горячекатаной продукции необходимо представить в виде перечня технологических операций в соответствии с технологией базового цеха.

Маршрутная технология должна начинаться с операции «фрезерование» и заканчиваться «сдачей на склад готовой продукции».

Наполнение каждой технологической операции должно включать в себя подробную информацию о температурном и деформационном режимах обработки, применяемом оборудовании, геометрических размерах заготовки до и после операции.



Типовое описание технологического процесса изготовления листовой продукции должно быть представлено следующим образом:

1. Фрезерование (вид оборудования, температура обработки, глубина фрезеруемого слоя, размеры слитка после фрезерования).
2. Мойка, сушка заготовки (применяемое оборудование, температура воды и воздуха).
3. Наложение планшетов (вид оборудования, толщина планшетов, размер заготовки под прокатку).
4. Нагрев слитка перед прокаткой (вид оборудования, температурный интервал нагрева, время нагрева в печи).
5. Горячая прокатка (вид оборудования, количество проходов прокатки по клетям, эджерные проходы, схемы обжатий по клетям, конечные размеры полосы, состояние материала после прокатки).
6. Смотка в рулон (вид оборудования, перечень действий после смотки в рулон).
7. Резка в лист предварительная (вид оборудования, размеры листа, транспортировка).
8. Отжиг (вид оборудования, температура нагрева, время выдержки, механические свойства).
9. Закалка (вид оборудования, температура нагрева и охлаждения, механические свойства материала).
10. Прогладка, правка, резка в меру (вид оборудования, деформация удлинения при правке, размер готового изделия).
11. Старение (вид старения, применяемое оборудование, температура нагрева, время выдержки, механические свойства материала).
12. Контроль качества (описание места контроля, виды контроля).
13. Упаковка (способ упаковки, упаковочные материалы, маркировка).
14. Сдача на склад (документация, способ транспортировки).
15. Утилизация отходов (виды отходов, сбор отходов, сортировка отходов).

## **4 РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ХОЛОДНОЙ ЛИСТОВОЙ ПРОКАТКИ**

Основная задача холодной прокатки – получение листов и лент с высоким качеством поверхности, требуемыми механическими свойствами и размерами: толщина от 0,0015 м до 0,004 м; ширина от 1,000 м до 2,000 м.

Заготовкой для получения холодной прокаткой тонких алюминиевых листов служит горячекатаная полоса толщиной от 0,002 м до 0,012 м, соответственно шириной от 1,0 м до 2,0 м и длиной от 200,0 м до 800,0 м, что определяется весом катаемого слитка на стане горячей прокатки, маркой катаемого сплава и толщиной горячего проката. Вес горячекатаного рулона может составлять от 5 000 кг до 10 000 кг. Составление материала – отожженное.

Так как в базовом прокатном производстве применяются современные высокопроизводительные прокатные станы, способные прокатывать рулоны весом до 15 000 ... 18 000 кг, то с целью увеличения веса горячекатаных рулонов применяют специальные линии укрупнения рулонов.

### **4.1 Анализ базового варианта маршрутной технологии листовой холодной прокатки и описание применяемого оборудования**

Технология изготовления холоднокатаной листовой продукции в базовом производстве включает в себя следующие основные операции.

#### ***4.1.1 Обработка на линии укрупнения рулонов (ЛУР)***

Линия укрупнения рулонов предназначена для обрезки концов горячекатаной полосы – заготовки, обрезки её боковых кромок, сварки встык предыдущей и последующей обрабатываемых полос и смотки полученной монополосы в рулон большего диаметра и большей массы.

#### **Работа оборудования**

Рулоны обрабатываемой партии устанавливаются мостовыми кранами на шагающий транспортёр. С помощью транспортёра рулон поступает на передаточную станцию. После отхода в исходное положение под рулон подводится подъёмная тележка. Центрирование рулона



производят по оси барабана разматывателя. Затем рулон надевается на барабан разматывателя до опорной плиты, осуществляющей центрирование рулона на барабане.

Прижимной ролик разматывателя опускается, убирается опорная плита и разжимается барабан, после чего подъемная тележка опускается и отводится в исходное положение. При поступательном движении полоса подается в раствор второго тянущего устройства. Ролик отгибателя поднимается и полоса продолжает свое движение с помощью тянущего устройства в правильную машину.

Пятироликовая правильная машина предназначена для правки кривизны переднего и заднего концов полосы. Во время смотки полосы на барабан моталки верхняя траверса пятироликовой правильной машины поднята.

После правки полоса проходит через контрольную плиту, где при необходимости проводится контроль толщины. С помощью второго тянущего устройства полоса подается к гильотинным ножницам, где обрезаются передний и задний утолщенные концы длиной до 1,5 метров каждый.

Обрезанная полоса с помощью третьего тянущего устройства подается через сварочную машину к дисковым ножницам.

Далее передний конец полосы подается на барабан моталки. Вращением моталки вперед рулон приводится в такое положение, чтобы конец полосы был прижат к роликам подъемной тележки. Подъемная тележка при помощи щита – сталкивателя снимает рулон с барабана и передает его к устройству обвязки.

После обвязки рулон устанавливается на «седло».

Маркировка рулонов осуществляется на шагающем транспортере.

На рулон наносится маркировка с указанием: номера партии, массы рулона, марки сплава, состояния поставки.

С шагающего транспортера рулон снимается мостовым краном с помощью траверсы. Затем осуществляется складирование рулонов.

#### *4.1.2 Холодная прокатка рулонов*

Холодная прокатка алюминиевых полос осуществляется рулонным способом, т.е. из рулона в рулон, поэтому станы холодной прокатки снабжены моталками с обеих сторон.

Различают станы одноклетьевые – реверсивные и неревверсивные; двухклетьевые – реверсивные и неревверсивные; многоклетьевые непрерывные станы, например 5-клетьевой стан холодной прокатки «SIMAG1800» (табл.7).

Одноклетьевые станы применяют в том случае, когда производится широкий сортамент сплавотипоразмеров. Для обеспечения высокой производительности при производстве узкого сортамента устанавливают многоклетьевые непрерывные станы.

В состав станов холодной прокатки входят разматыватели с отгибателями переднего конца, прокатные клетки, моталки, двигатели валков и моталок, эмульсионно-масляные системы и т.д. В табл. 7 даны основные технические характеристики прокатных станов холодной прокатки, позволяющие выбрать из них необходимый для проектируемого производства.

В связи с тем что заготовка на первый проход прокатки подается в отожженном состоянии, то рекомендуется начинать прокатку с больших степеней деформации порядка (30...40)%, а в последующих проходах уменьшать степень деформации до (10...15)% ввиду упрочнения металла (рис.7). При этом контролируют условие захвата  $\alpha < [\alpha]$  и суммарную степень деформации.

Холодную прокатку ведут как правило за 3...7 проходов.

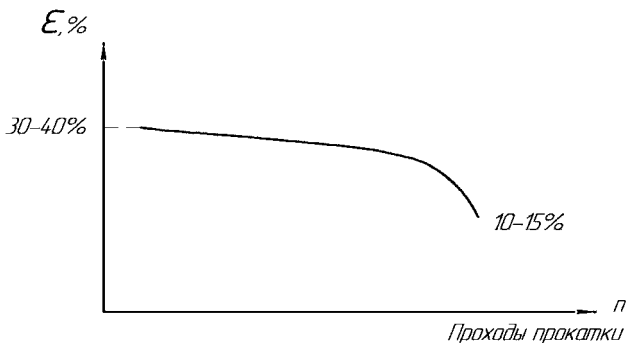


Рис. 7. Схема распределения обжатий по проходам прокатки

Т а б л и ц а 7. Характеристики станов холодной прокатки

Тип стана	Габариты валков, м			N, кВт	v, м/с	Толщина прокатки, 10 <sup>-3</sup> м		P <sub>дон.</sub> Кн	Макс. момент прокатки, КНм
	D <sub>p</sub>	D <sub>оп</sub>	L <sub>боч</sub>			Начальная	Конечная		
Одноклетье- вой реверсив- ный	0,65	1,40	2,80	4000	0,5-4,0	10,0-4,0	3,0-0,5	20,0	
То же	0,50	1,25	1,70	2200	5,0-7,0	12,0-6,0	3,0-0,5	27,5	
Непрерывный двухклетьевой	0,65	1,40	2,20	2x4000	4,0-10,0	10,0-4,0	3,0-0,5	20,0	
Непрерывный трёхклетьевой	0,45	1,24	1,68	3x960	8,0-12,0	4,0	0,25	20,0	
То же	0,55	1,30	2,04	3x4500	10,0-18,0	8,0-2,0	3,5-0,4	20,0	
Непрерывный пятиклетьевой 1	0,55	1525	1,86	2200		7,0-2,0		25,0	398,2
2	0,55	1525	1,86	2600				25,0	239,7
3	0,55	1525	1,86	2600				25,0	175,3
4	0,55	1525	1,86	2600				25,0	106,2
5	0,55	1525	1,86	2200	До 20,0		1,85-0,15	25,0	106,2
Одноклетье- вой нереве- сивный	0,56	1,55	2,30	8400	До 25,0	8,0-0,4	4,0-0,2	25,0	247,0

### *4.1.3 Термическая обработка после прокатки*

Термическая обработка полосы после холодной прокатки осуществляется в двух видах – отжиг или закалка. Эти термические операции производятся на линии непрерывной термообработки (ЛНТО). По сравнению с воздушными агрегатами полистной заковки и камерными печами, эта линия позволяет сократить продолжительность нагрева, уменьшить диффузию меди в плакирующий слой и размер рекристаллизованного зерна, повысить стабильность механических и коррозионных свойств закаленного материала.

Использование воздушной подушки для бездефектной транспортировки полуфабрикатов вдоль нагревательной печи обеспечивает сохранность их поверхности, а применение машины непрерывной правки полосы позволяет получать листы с высокой плоскостностью.

ЛНТО представляет собой комплекс агрегатов термообработки и отделки, на которых производятся следующие операции: стыковка лент, закалка, отжиг, правка, резка на листы или смотка в рулон.

Принципиальная схема и состав основного оборудования линии показаны на рис. 8. Линия оснащена автоматической системой центрирования полосы, системой регулирования натяжения ленты в печи, цифровой системой контроля удлинения полосы в агрегате правки.

Исходный рулон ленты устанавливается в разматывателе, который подает ленту в линию. Для обеспечения непрерывности процесса осуществляется стыковка обрабатываемых рулонов механическим замковым швом внахлестку. Перед подачей ленты на агрегат стыковки на гильотинных ножницах обрезают передний и задний утолщенные концы. Во время стыковки концов обрабатываемых рулонов работа агрегатов обеспечивается за счет запаса ленты в петлеобразователе разматывателя. В период резки прошедшего термообработку рулона на листы или снятия его с моталки закаленная лента поступает в петлеобразователь моталки.

Одним из основных агрегатов линии является печь с закалочно-охлаждающим устройством. Закаленная лента поступает в машину непрерывной правки, где она с целью достижения заданной плоскостности подвергается правке по методу: растяжение с изгибом. Относительное удлинение полосы строго контролируется специальной системой с точностью 0,1%.

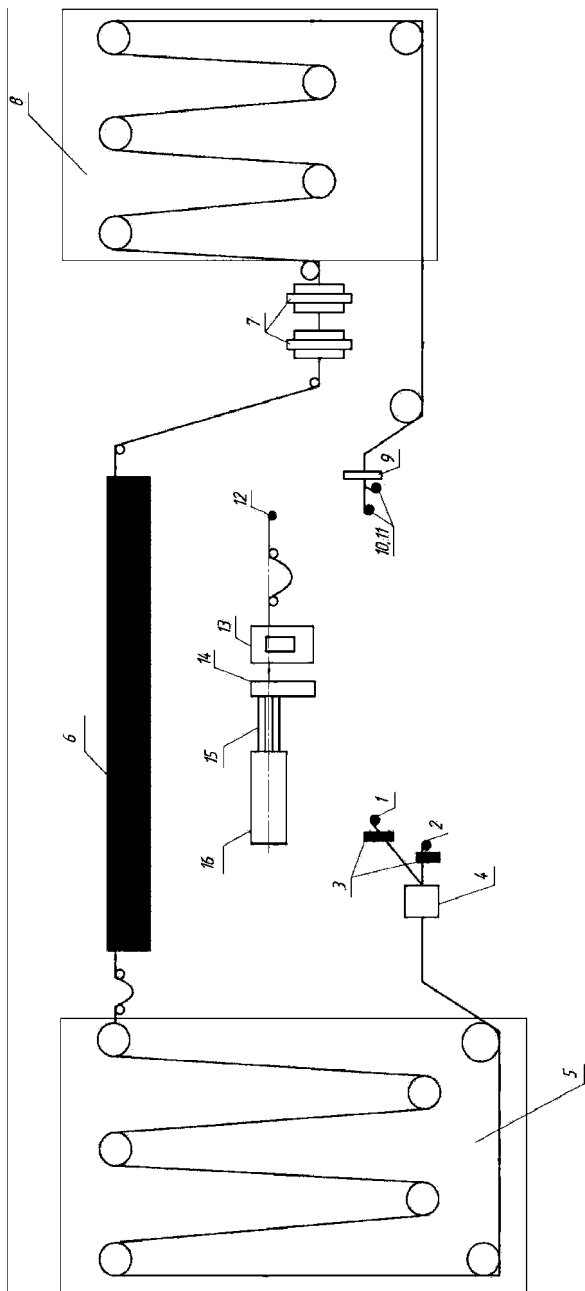


Рис. 8. Схема линии непрерывной термообработки (ЛНТО)

После правки лента через накопитель моталки поступает либо на резку на листы требуемой длины, либо, при необходимости, на моталку, где сматывается в рулон.

Основная задача холодной прокатки – получение листов и лент с высоким качеством поверхности, требуемыми механическими свойствами и размерами: толщина  $(0,15...4) \cdot 10^{-3}$ ; ширина  $1,0...2,0$  м.

На рис. 9 показана схема линии правки растяжением с изгибом.

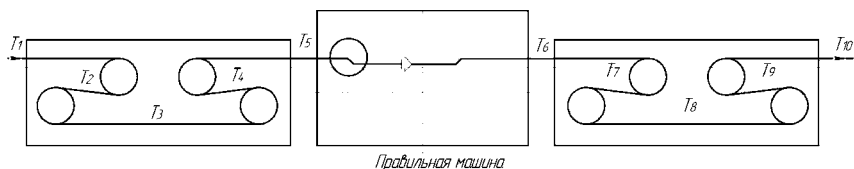


Рис. 9. Схема оборудования правки растяжением с изгибом

Растяжение между натяжным устройством на входе и натяжным устройством на выходе создается постепенным увеличением тангенциальной скорости каждого ролика натяжного устройства на входе и постепенным уменьшением тангенциальной скорости роликов натяжного устройства на выходе.

Эта система запатентована. Она называется системой правки растяжением «ТЕНСИОМАТИК».

Метод правки растяжением с изгибом представляет целый ряд преимуществ, благодаря которым он считается одним из самых лучших современных производительных методов правки.

#### **4.1.4 Резка полосы продольная**

Осуществляется на специализированной линии продольной резки – ЛПР.

Рулон поднимается тележкой и центрируется по оси барабана разматывателя. Конец ленты заводится на отгибатель и перемещается по столу ввода к четырехроликовому правильному устройству, ролики которого раскрыты.

При помощи тянущих роликов лента через передаточный стол подается к гильотинным ножницам, которыми обрезается передний

утолщенный конец полосы. Длина обрезков приблизительно 0,74 м. Затем лента вводится в клеть дисковых ножниц для продольной резки. Обрезанная кромка по желобам поступает в приямок.

На заправочной скорости доматываются последние витки рулона до появления некондиционной ленты по толщине и качеству поверхности. Некондиционная лента режется в брак гильотинными ножницами. Под рулон подают тележку с пустым поддоном. Тележка при помощи сталкивающего щита снимает рулон с барабана и транспортирует его к обвязочному устройству, где рулон обвязывается стальной лентой.

После обвязки рулон с поддоном передается на выходной конвейер, маркируется и убирается мостовым краном.

Линия продольной резки обычно снабжена промасливающей установкой для консервации поверхности ленты. Нанесение смазки осуществляется в процессе работы линии продольной резки. Установка предназначена для нанесения смазки на поверхность лент в электростатическом поле.

#### ***4.1.5. Резка в лист поперечная***

Поперечная резка полосы на листы заданной длины осуществляется на линии резки «1,5 – 6,0 мм». Здесь производится резка переднего и заднего конца полосы, обрезка боковых кромок, их измельчение и транспортирование в короб или банку, правка полосы, резка на листы, клеймение и промасливание листов, отбор карточек для образцов, упаковка пакетов листов.

#### **Работы на линии резки**

Рулон устанавливается на балку загрузочного устройства.

Тележка с рулоном подаётся на барабан разматывателя. Потом прижимной ролик опускается на рулон. Передний конец ленты подаётся на подвижную проводку установки скребкового отгибателя. Затем передний конец полосы задаётся в 5-роликовую правильную машину.

На комбинированных ножницах в режиме «Автоматическая порезка недоката» режется передний, а по окончании резки на листы – задние дефектные концы ленты на карточки длиной 0,8 – 1,0 м.

Укладка листов производится на поддон без промасливания с клейменем. Высота стоп листов вместе с поддоном не должна превышать 0,6 м.

#### **4.1.6 Контроль**

Контроль качества холоднокатаных тонких листов производится согласно следующему регламенту:

1. Контролю геометрических размеров подвергают каждый десятый лист.

2. Качество поверхности и отклонение от плоскости листов проверяют на каждом листе.

3. Контролю механических свойств при растяжении (временного сопротивления, предела текучести и относительного удлинения) подвергают не менее, чем по одному листу от каждой предъявляемой к сдаче партии.

4. При получении неудовлетворительных результатов испытания механических свойств, полученных хотя бы по одному из показателей, по нему проводят повторные испытания на удвоенном количестве листов. При неудовлетворительных результатах повторных испытаний допускается поштучное испытание, результат которого является окончательным.

#### **Виды контроля**

- Осмотр поверхности листов и выявление расслоений проводят без применения увеличительных приборов.

- Измерение размеров производят мерительным инструментом, обеспечивающим необходимую точность измерения. Измерение толщины листов производят на расстоянии не менее 0,115 м от углов и не менее 0,025 м от кромок листа. Измерение толщины листов проводят микрометром по ГОСТ 6507-78. Измерение ширины и длины листов проводят измерительной металлической рулеткой по ГОСТ 7502-80.

- Отбор образцов для механических испытаний проводят по ГОСТ 24047-80.

- Измерение отклонения от плоскостности листов проводят на контрольной плите по НТД.

- Микроструктуру листов проверяют металлографическим методом на одном образце.



#### 4.1.7 Маркировка

На одной из сторон на расстоянии не более 0,03 м от кромки по ширине или от кромки короткой стороны листа должны быть выбиты: марка сплава, состояние материала, толщина листа, номер партии и штамп технического контроля.

По требованию потребителя допускается поставка листов без клеймения.

#### 4.1.8 Упаковка

Упаковка производится вручную. Вид упаковки: горизонтальный.

Листы укладывают на поддон, застеленный фольгой. Листы укладывают в стопы высотой не более 0,5 м. Каждая стопа должна быть завернута в два слоя промасленной бумаги с закладкой селикагеля. Затем обернута полиэтиленовой пленкой и фольгой. Торцы должны быть с защитой картоном.

#### 4.1.9 Сдача на склад.

Сдача листов на склад производится по теоретической массе. Здесь производится оформление документации и на ящик наносится информация о его содержимом.

#### 4.1.10 Дефекты, возникающие при холодной прокатке

Основные виды брака при холодной прокатке: надирь и потертости полосы, рваная кромка, «елочка», закаты, отпечатки, вмятины и насечка, плохая выкатка, несоответствие толщин, нагар технологической смазки.

Причины образования *надири* и *потертости* полос: сухое трение, попадание крошек прокатываемого металла в щели поводкового хозяйства, сдвиг витков при смотке и размотке полосы при рулонной прокатке.

*Потёртости* могут образовываться также при транспортировке рулонов в результате ослабления и сдвига витков. В связи с этим большой интерес представляет опыт транспортировки тонких лент на специальных шпулях. Намотка при прокатке в этом случае ведётся не на барабан, а на шпулю, надеваемую на вал моталки. Шпуля с намотанной лентой транспортируется по цеху на различные операции, в том числе на отжиг и резку на листы.

*Рваная кромка* образуется в тех случаях, когда возникают: отклонения от заданного химического состава при отливке слитка; нарушения температурного режима прокатки; нарушения схемы обжатия.

*Насечка* – тонкие штрихи одинаковой длины, вытянутые в направлении прокатки. «Насечки» обычно образуются в результате сдвига витков при несоблюдении режима натяжения на моталках, когда натяжение при размотке больше, чем при намотке полосы. Характерно, что склонность к образованию насечки увеличивается с повышением чистоты обработки валков, так как при более гладкой поверхности полосы трение между витками уменьшается.

Причинами образования насечки могут быть также обрывы полосы при прокатке, неровная поверхность барабана моталки и волнистые концы полосы, заправляемые в щель моталки.

Склонность к образованию насечки зависит также от марки сплава.

Для устранения насечки наряду с современными схемами регулирования натяжения при холодной прокатке применяют эмульсии высокой концентрации (30-40%). Чистота обработки валков при этом должна быть 7–8-го класса. Относительно шероховатая поверхность валков удерживает слой смазки, исключая появление насечки при смещении витков.

*Ёлочка* – мелкая местная волнистость полосы, которая возникает при чрезмерно высоких обжатиях и неравномерной подаче смазки на валки. В местах с малой подачей смазки коэффициент трения увеличивается и процесс деформации идёт неравномерно (толчками), в результате чего на полосе появляется характерный световой рисунок в виде «елочки», который ухудшает декоративный вид листов.

*Нагар* технологической смазки образуется при попадании её между витками на последних проходах. В этом случае при отжиге холоднокатаного материала в плотно смотанных рулонах или в стопах в результате невыгорания смазки у кромок образуются тёмные и радужные пятна, портящие внешний вид продукции. Основные способы борьбы с нагаром смазки – подбор специальных смазок и проведение отжига в защитной атмосфере.

*Закаты* имеют вид различных по цвету пятен и полос, вытянутых в направлении прокатки. Дефект возникает от вдавливания в поверх-

ность листов неметаллических и металлических включений, остатков эмульсии и смазки. Металлические закаты, встречающиеся на листах дуралюмина, возникают от попадания на поверхность листа кусочков прокатываемого металла, отскакивающих от кромки при ее растрескивании.

*Закаты эмульсии* возникают при холодной прокатке. Попадание эмульсии на полосу со стороны съема рулонов и вдавливание ее в поверхностный слой металла вызывают образование белых пятен, которые хорошо выявляются после термической обработки.

Все виды закатов обнаруживаются при визуальном осмотре листов и изделий после травления, анодирования, гибки, штамповки. Закаты ухудшают декоративный вид изделий и являются очагом коррозии. Наиболее рациональный способ предупреждения закатов от смазки и эмульсии – холодная прокатка с применением масел.

К другим мерам по предупреждению металлических закатов относятся плакирование боковых граней слябов, соблюдение режима гомогенизации и отжига и повышение культуры производства.

## 4.2 Выбор основного оборудования

При холодной прокатке, как и при любой холодной пластической деформации при  $T = 50^{\circ}\text{C}$ , наблюдается интенсивное упрочнение металла (нагартовка). При этом предел текучести растет, а пластические свойства уменьшаются. Для всех типов сплавов в справочной литературе имеются так называемые диаграммы упрочнения, которые определяют связь предела текучести  $\sigma$  и степени деформации  $\varepsilon$ .

$$\varepsilon = \frac{h_0 - h_t}{h_0}, \quad (27)$$

где  $h_0 = h_0^{\text{отож.}}$  – толщина отожженной заготовки, то есть которая подается на первый проход холодной прокатки.

Горячекатаные полосы, полученные на 7-клетевом стане горячей прокатки кварто «2800», обладают свойствами отожженного металла.

Для каждого сплава существует (по диаграмме упрочнения) максимально допустимая величина обжатия  $\varepsilon_{\text{max}}$ , при достижении которой осуществлять прокатку запрещено, если даже не достигнута конечная толщина полосы в соответствии с заданием. Рулон необходимо

снять с прокатного стана, произвести отжиг, а затем продолжить прокатку. В связи с этим, прежде чем производить выбор прокатного стана, необходимо исходя из значений толщины заготовки  $h_0$  и конечной толщины полосы  $h_k$  определить потребность в проведении её промежуточного отжига, рассчитав суммарное обжатие и сравнив его с допустимым значением. Если до достижения конечной толщины проката требуется промежуточный отжиг, то применение для прокатки, например, пятиклетьевого непрерывного стана невозможно. Необходимо либо выбирать одноклетьевого прокатный стан, либо комбинацию одноклетьевого и непрерывного многоклетьевого станов.

Если величина суммарной степени деформации не требует проведения промежуточного отжига, то целесообразно применить для проектируемого варианта пятиклетьевого непрерывный стан холодной прокатки «1800».

### 4.3 Выбор размеров заготовки

Для холодной прокатки в проектируемом цехе предполагается использовать непрерывный пятиклетьевого стан холодной прокатки «1800». Из характеристик данного стана следует, что горячекатаный рулон должен иметь толщину от 7 до 2 мм. Максимальная ширина горячекатаного рулона 1,75 м.

Назначение размеров горячекатаной заготовки для проектируемого технологического процесса необходимо произвести на основе производственного опыта базового предприятия при производстве подобной листовой продукции.

### 4.4 Расчет режимов обжатий холодной прокатки

Холодную прокатку следует вести с максимальными обжатиями за проход, величина которых определяется, как и при горячей прокатке, предельным углом захвата, давлением металла на валки, величиной момента прокатки, а также заданными механическими свойствами сплавов. Малые деформации ухудшают качество поверхности, выкатку и увеличивают число проходов, резко снижая производительность.

Давление металла на валки в  $i$ -м проходе находится по формуле:

$$p_{cpi} = \frac{1}{\Delta h_i} \left\{ 2\xi_{0i} K_{0i} \frac{h_{0i}}{\delta_i - 2} \left[ \left( \frac{h_{0i}}{h_{Hi}} \right)^{\delta_i - 2} - 1 \right] + 2\xi_{1i} K_{1i} \frac{h_{1i}}{\delta_i + 2} \left[ \left( \frac{h_{Hi}}{h_{1i}} \right)^{\delta_i + 2} - 1 \right] \right\} \quad (28)$$

Здесь  $\xi_{0i} = 1 - \sigma_{0i} / (2K_{0i})$ ;  $\xi_{1i} = 1 - \sigma_{1i} / (2K_{1i})$ ;

$$\delta_i = 2\mu_{ci} / \Delta h_i; \quad h_{Hi} = 2\delta_i \sqrt{\frac{\xi_{0i}}{\xi_{1i}} h_{0i}^{\delta_i - 1} h_{1i}^{\delta_i + 1}};$$

$\sigma_0$  – напряжение, вызванное задним натяжением полосы,

$$\sigma_0 = (4,3 \dots 0,5) h_{cpi};$$

$\sigma_{1i}$  – напряжение, вызванное передним натяжением полосы,

$$\sigma_{1i} = (5,67 \dots 0,6) h_{cpi};$$

$K_{i-1}$ ,  $K_i$  – сопротивление чистому сдвигу соответственно на входе в валки и выходе из них металла;

$$2K_{0i} = 1,15\sigma_{s0};$$

$$2K_{1i} = 1,15\sigma_{s1};$$

$l_{ci}$  – длина дуги захвата с учётом сплющивания валков вследствие значительных по величине удельных давлений:

$$l_{ci} = \sqrt{l_i^2 + x_2^2} + x_2; \quad x_2 = p_{cpi} (R_i / 9500). \quad (29)$$

Формула Хичкока-Целикова (29) используется только для определения действительной длины дуги захвата при расчётах режимов холодной прокатки твёрдых сплавов. Для холодной прокатки мягких сплавов справедлива формула (14).

Так как величины  $p_{cpi}$  и  $l_{ci}$  взаимно связаны, то задача решается путём подбора. На первом этапе расчёта применяется  $l_{ci}^1 \approx 1,1l_i$ . Далее по формуле (28) определяют  $p_{cpi}$ , по величине которого из уравнения (29) рассчитывают  $l_{oci}^2$ . Такой подбор ведут до тех пор, пока

ближайшие расчётные значения не совпадут друг с другом с заданной точностью:

$$\left| \frac{l_{ci} - l_{ci}^I}{l_{ci}} \right| \cdot 100\% \leq 5\% .$$

Значение предела текучести  $\sigma_{s1}$  выбирается из диаграмм упрочнения для данного прохода с учётом суммарной степени деформации и промежуточных отжигов (рис. 10).

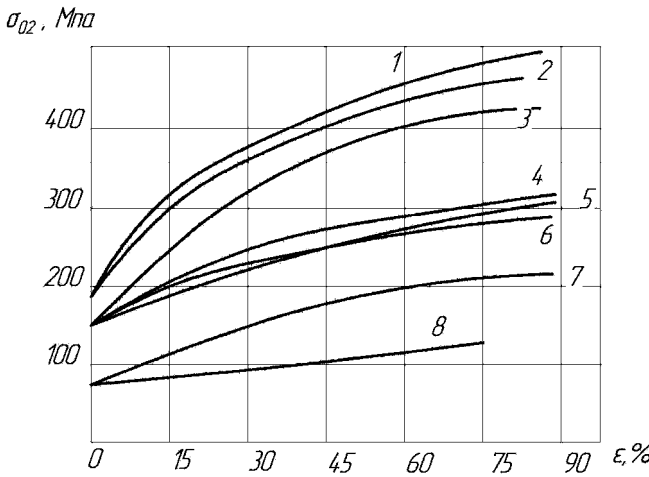


Рис. 10. Зависимость предела текучести от степени деформации при  $T = 20^\circ\text{C}$ : 1 – АМГ6; 2 – АМГ5; 3 – В92; 4 – Д16; 5 – Д1 и АМГ3; 6 – АМГ2; 7 – АМЦ; 8 – АД1

При холодной прокатке суммарные деформации  $\epsilon_{\Sigma} = \left( \sum_{i=1}^n \Delta h_i \right) / H_0$  ( $H_0$  – начальная толщина рулона после отжига) могут достигать значительных величин; 90% – при прокатке твёрдых сплавов и более 95% – для мягких сплавов. При достижении критической степени деформации назначают промежуточные отжиги.

Расчёт  $h_{0i}$ ,  $h_{1i}$ ,  $\Delta h_i$ ,  $\epsilon_i$ ,  $\alpha_i$  ведётся как и для процесса горячей прокатки:  $[\alpha_{\text{отж}}] = 3 \dots 4$  град.

Опережение определяется по формуле Дрездена:

$$S_i = \gamma_i^2 (R_i / h_i) .$$

В табл. 8 приведён пример распределения обжатий по проходам на неревверсивном одноклетьевом стане «2300» при прокатке полосы толщиной 0,76 мм из сплава Д16 из заготовки толщиной 0,005 м.

Т а б л и ц а 8. Распределение обжатий по проходам

Номер прохода	$h_{0i}, 10^{-3}$ м	$h_{1i}, 10^{-3}$ м	$\Delta h_i, 10^{-3}$ м	$\varepsilon_i, \%$	$\varepsilon_{\Sigma i}, \%$
1	5,0	2,869	2,131	42,6	42,6
2	2,863	1,866	1,003	34,9	62,0
3	1,866	1,295	0,571	30,5	73,4
4	1,295	0,955	0,340	26,2	80,9
5	0,955	0,760	0,195	20,4	84,8

Давление металла на валки определяется при холодной прокатке по приближённой формуле Целикова с учётом натяжения, которое существенно снижает давление металла на валки.

Следует помнить, что при холодной прокатке тонких полос уширением можно пренебречь, т.е.  $B_i = \text{const}$ .

При прокатке без смазки следует принять коэффициент трения  $\mu = 0,16 \dots 0,24$ , при смазке минеральным маслом –  $0,06 \dots 0,07$ .

Полученные в результате расчётов параметры рекомендуется объединить в сводную таблицу.

#### 4.5 Описание технологического процесса холодной прокатки проектируемого цеха

Раздел включает в себя три разработанных технологических маршрута для выбранной номенклатуры проектируемого цеха в соответствии с заданием на дипломный проект.

Описание маршрута изготовления холоднокатаной продукции необходимо представить в виде перечня технологических операций в соответствии с технологией базового цеха.

Маршрутная технология должна начинаться с операции «обработки на линии укрупнения рулона» и заканчиваться «сдачей на склад готовой продукции».

Наполнение каждой технологической операции должно включать в себя подробную информацию о деформационных режимах обработ-

ки, применяемом оборудовании и геометрических размерах заготовки до и после операции.

Типовое описание технологического процесса изготовления листовой продукции должно быть представлено следующим образом:

1. Обработка на линии укрупнения рулонов (вид оборудования, перечень действий, геометрические размеры после операции, вес рулона).

2. Холодная прокатка (вид оборудования, схема обжатий, скорость прокатки, размеры рулона после прокатки, вес рулона).

3. Обработка на линии непрерывной термообработки (вид оборудования, виды обработки, температура отжига или нагрева под закалку, скорость движения ленты, деформации при правке, геометрические размеры изделия).

4. Резка в лист (вид оборудования, геометрические размеры изделия, вес листов).

5. Контроль (место контроля, вид контроля, регламент контроля).

6. Упаковка (маркировка листов, способ упаковки, материалы для упаковки).

7. Сдача на склад (документация, способ транспортировки).

8. Утилизация отходов (виды отходов, сбор отходов, сортировка отходов).



## 5 ВЫБОР ДВИГАТЕЛЯ ДЛЯ ПРИВОДА ВАЛКОВ

Момент на валу двигателя, необходимый для привода валков прокатного стана, складывается из двух величин:

$$M_{\text{дв}} = M_{\text{ст}} + M_{\text{дин}}.$$

Статистический момент двигателя  $M_{\text{ст}}$  не изменяется в процессе прокатки и определяется по формуле

$$M_{\text{ст}} = \frac{M_{\text{пр}} + M_{\text{тр}}}{i\eta} + M_{\text{хх}},$$

где  $M_{\text{пр}}$  – момент прокатки, определяемый по выражению (23);

$i = n_{\text{дв}} / n_{\text{в}}$  – передаточное отношение привода между валками и приводом,  $i = 1,63$ .

Здесь  $n_{\text{дв}}$  и  $n_{\text{в}}$  – скорости вращения двигателя и валка соответственно, об/с.

$$\text{КПД привода } \eta = \eta_1 \eta_2 \eta_3,$$

где  $\eta_1 = 0,99$ ;  $\eta_2 = 0,92 \dots 0,95$ ;  $\eta_3 = 0,95 \dots 0,98$  – соответственно КПД шпинделей, шестерённой клетки, редуктора вместе с муфтой [14].

Момент сил трения  $M_{\text{тр}}$ , возникающий в подшипниках валков станов кварто:

$$M_{\text{тр}} = p d_{\text{ш}} \mu_{\text{ш}} (D_{\text{р}} / D_{\text{оп}}),$$

где  $p$  – нагрузка на подшипники, равная давлению металла на валки;

$$d_{\text{ш}} – \text{диаметр шейки рабочих валков, } d_{\text{ш}} = 0,6D_{\text{р}};$$

$\mu_{\text{ш}}$  – коэффициент трения в подшипниках ( $\mu_{\text{ш}} = 0,003$  для подшипников жидкостного трения);

$$D_{\text{р}} \text{ и } D_{\text{оп}} – \text{диаметр рабочего и опорного валков соответственно.}$$

Момент холостого хода  $M_{\text{хх}}$ , необходимый для привода валков во время холостого хода:

$$M_{\text{хх}} = (0,02 \dots 0,05) M_{\text{пр}}.$$

Динамический момент двигателя, требующийся для преодоления инерционных усилий в станах с регулируемой скоростью прокатки:

$$M_{\text{дин}} = G D_{\text{пр}}^2 \rho / 375,$$

где  $\rho$  – угловое ускорение (замедление) вращения ( $\rho = 0,33 \dots 1,0$  об/с – для алюминиевых сплавов);

$GD_{np}^2$  – приведённый к оси якоря электродвигателя маховой момент вращающихся частей привода:

$$GD_{np}^2 = GD_{я}^2 + GD_{м}^2 + GD_{max}^2 + \frac{GD_{к}^2}{i^2} + \frac{GD_{км}^2}{i^2} + 2 \left( \frac{GD_{uu}^2}{i^2} + \frac{GD_{uu}^2}{i^2} + \frac{GD_{p}^2}{i^2} \right).$$

Здесь индексами обозначены маховые моменты якоря двигателя  $GD_{я}^2$ , моторной муфты  $GD_{м}^2$ , маховика  $GD_{max}^2$ , ведомого колеса редуктора  $GD_{к}^2$ , коренной муфты  $GD_{км}^2$ , шестерённых валков  $GD_{uu}^2$ , шпинделей  $GD_{uu}^2$ , рабочих валков  $GD_{p}^2$ .

Приведённый динамический момент двигателя с учётом продолжительности включения (ПВ):

$$M_{дин.пр} = M_{дин} \sqrt{\frac{ПВ}{0,25}},$$

где  $ПВ = t_{раб} / t_{ц}$ ,  $t_{ц} = t_{раб} + t_{н}$ :

$t_{раб} = L_1 / v_1$  – рабочее время прохода;

$$L_1 = (L_0 B_0 h_0) / (B_1 h_1),$$

$t_{н}$  – время пауз,  $t_{н} = \Delta h_i / v_{н.в}$ ,

$v_{н.в}$  – скорость перемещения нажимных винтов ( $v_{н.в} = 0,02$  м/с);

$t_{ц}$  – продолжительность одного цикла прокатки.

Время прокатки должно распределяться между клетями таким образом, чтобы продолжительность прокатки в чистовых клетях была на 15...20% меньше, чем в черновых. Причём на обжатие в эджерных валках затрачивается время  $t_{э} \approx 8$ с,

$$t_{\Sigma}^{кл} = t_{ц1} + t_{ц2} + \dots + t_{цк} + mt_{эв},$$

где  $k$  – число проходов в рассматриваемой клетке;

$m$  – число обжатий в эджерных валках.

Момент двигателя прокатного стана – контролируемый параметр:

$$M_{об} / K \leq M_n,$$

где  $K$  – коэффициент допускаемой перегрузки двигателя стана,

$M_n$  – номинальный момент двигателя, определяемый по каталогам.

Кроме того, рассчитывается мощность двигателя

$$N_{\text{дв}} = A \cdot 10^3 / (102 \cdot t_{\text{раб}}),$$

где  $A$  – работа двигателя,

$$A = \frac{L_{1i}}{R_i(1 + S_i)} \frac{M_{\text{дв}}}{K}.$$

Найденное значение  $N_{\text{дв}} \leq N_n$  следует сравнивать с номинальной мощностью двигателя  $N_n$ , указываемой в каталогах.

По отношению момента прокатки  $M_{np}$  к статическому моменту двигателя определяется КПД прокатного стана:

$$\eta = M_{np} / (M_{np} + M_{\text{св}}).$$

Следует помнить, что выбор двигателя проводят по наиболее нагруженному проходу в каждой клетки прокатного стана.

## 6. РАСЧЁТЫ НА ПРОЧНОСТЬ ОСНОВНЫХ ДЕТАЛЕЙ ПРОКАТНОГО СТАНА

В процессе расчёта на прочность определяют опасные сечения и выбирают материал, удовлетворяющий условию прочности.

### 6.1 Расчет валков рабочей клетки

#### Расчет бочки валка на изгиб

При ориентировочном расчёте валок представляется в виде балки, установленной на двух опорах с равномерно распределённой нагрузкой на единицу длины валка  $q = P / \delta$ , где  $P$  – усилие прокатки металла в рассматриваемой клетке, рис. 11.

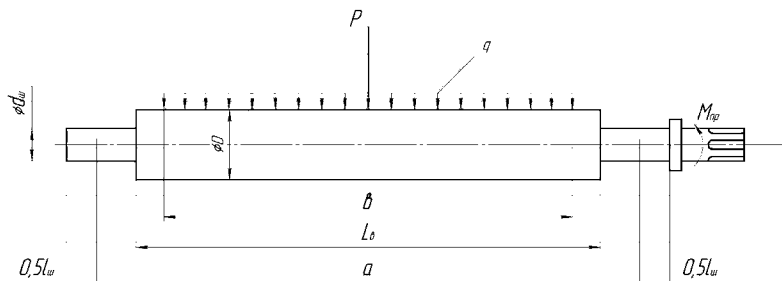


Рис. 11. К расчету опорного валка рабочей клетки кварто

Момент изгиба и изгибающие напряжения в среднем сечении бочки валка определяются по формулам:

$$M_{изг} = \frac{P}{4}(a - 0,5\delta);$$

$$\sigma_{изг} = \frac{M_{изг}}{0,1D^3} \leq \frac{[\sigma]}{5},$$

где  $a$  – расстояние между осями нажимных валков, м;

$D$  – диаметр валков, м.

Следует отметить, что в клетях кварто на изгиб от давления металла на валки рассчитывают только опорные валки.

## Расчет шейки валка на изгиб и кручение

Шейку рабочих валков рассчитывают на изгиб и кручение:

$$\sigma_{изг} = \frac{Pl_{ш}}{0,1d_{ш}^3}; \quad \tau_{кр} = \frac{M_{np}}{0,2d_{ш}^3},$$

где  $d_{ш}$  – диаметр шейки валка в опасном сечении;

$M_{np}$  – крутящий момент, передаваемый рабочему валку.

Результирующее напряжение определяется для стальных валков по энергетической теории прочности:

$$\sigma = \sqrt{\sigma_{изг}^2 + 3\tau_{кр}^2} \leq \frac{[\sigma]}{5}.$$

Оно не должно превышать допускаемые  $[\sigma]$  с учётом пятикратного запаса прочности (табл.9).

Т а б л и ц а 9. Допускаемые напряжения в элементах валков

Элемент	Допускаемое напряжение, МПа
Рабочий валок	
шейки	200...300
бочки	400...450
Опорный валок	
шейки	200...300
бочки	250...350

## Расчет валка на жесткость

Ввиду больших давлений при прокатке валки изгибаются, толщина прокатываемого металла становится неравномерной по ширине. Поэтому величину прогиба валков необходимо учитывать, особенно при прокатке тонких полос:

$$F = f_1 + f_2 \leq f_{дон},$$

$$\text{где } f_1 = \frac{5 Pa^3}{384 EJ}; \quad f_2 = \frac{1 Pa}{8 GF},$$

$E, G$  – модули упругости I и II рода ( $G = 82000$  МПа,  $E = 215000$  МПа),

$J = 0,05D^4$  – момент инерции сечения бочки валка,  $F = 0,8D^2$ .

Допускаемые суммарные прогибы:  $f_{don} = 0,00005 \dots 0,0002$  м при холодной прокатке и  $f_{don} = 0,0003 \dots 0,001$  м при горячей прокатке.

### Расчет вала на контактную прочность

В ряде случаев необходимо определить контактные давления, возникающие в зоне касания рабочего и опорного валков. Эти напряжения при одинаковом материале валков подсчитываются по формуле Герца – Беляева:

$$\sigma_{\max} = 0,59 \sqrt{\frac{qE(D_p + D_{on})}{D_p D_{on}}} \leq [\sigma] = 1500 \dots 2000 \text{ МПа.}$$

Охлаждение и смазка валков станов горячей и холодной прокатки, контроль теплового режима валков производят путём обильной поливки 0,5...6% эмульсией, приготовленной на эмульсоле. Один из основных компонентов эмульсии – минеральное масло.

### 5.2 Расчет станины рабочей клетки

В листовых станах рабочие клетки имеют станины закрытого типа, что позволяет получить большую жёсткость.

#### Расчет станины на прочность

Для упрощения расчётов станину закрытого типа представляют в виде прямоугольной рамы, состоящей из двух одинаковых стоек и поперечин. Со стороны нижнего вала и нижней подушки на нижнюю поперечину и со стороны нажимного винта на верхнюю поперечину действуют вертикальные силы, численно равные половине усилия прокатки, воспринимаемого шейкой валков, то есть  $0,5P$ , где  $P$  – усилие прокатки. Под действием силы  $0,5P$  в углах жесткой рамы возникают моменты  $M_0$  (рис.12, а).

Для определения напряжения условно представим жесткую раму, разрезанную в углах и образующую свободные двухопорные балки (рис.12, б). Для учета влияния жестких углов в соединениях поперечин со стойками приложим к отрезанным балкам в опорах моменты  $M_\phi$ .

Из рис.12, б видно, что каждая стойка станины растягивается под действием силы  $P/4$  и изгибается внутрь окна постоянным по всей

высоте стойки моментом. Напряжение растяжения в любом сечении стойки

$$\sigma'_c = P / (4F_c) .$$

Под действием  $M_0$  наружная сторона стойки будет испытывать напряжение сжатия, а внутренняя – напряжение растяжения

$$\sigma''_c = M_0 / W_c ,$$

где  $W_c$  – момент сопротивления сечения стойки изгибу

$$W_c = (Sh_c^2) / 6 ,$$

где  $S$  – толщина станины,  $h_c$  – ширина стойки.



Рис. 12. К расчету станины

Величина момента  $M_0$  находится по формуле

$$M_0 = \frac{Pl_n}{16} \frac{1}{1 + \frac{l_c}{l_n} \cdot \frac{I_n}{I_c}},$$

где  $I_n$  и  $I_c$  – моменты инерции сечения поперечин и стойки:

$$I_n = \frac{Sh_n^3}{12}, \quad I_c = \frac{Sh_c^3}{12},$$

$l_n$ ,  $l_c$  – длины поперечины и стойки соответственно.

Таким образом, наиболее опасные напряжения растяжения, вызывающие разрушение, действуют на внутренних поверхностях стоек:

$$\sigma_c = \sigma'_c + \sigma''_c = \frac{P}{4F_c} + \frac{M_0}{W_c} \leq [\sigma] = \frac{\sigma_s}{K_s},$$

где  $\sigma_s$  – предел прочности материала станины;  $K_s$  – коэффициент запаса прочности. С учетом динамического характера работы станины  $K_s$  берется не менее 10.

Каждая поперечина изгибается наружу силой  $0,5P$  и внутрь моментом  $M_0$ , то есть их действие противоположно. В результате максимальный момент действует в середине поперечины (рис.12, в):

$$M_n = \frac{Pl_n}{8} - M_0$$

и максимально растягивающее напряжение

$$\sigma_n = \frac{M_n}{W_n} < [\sigma] = \frac{\sigma_s}{K_s},$$

где  $W_n$  – момент сопротивления сечения поперечины изгибу

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

$h_n$  – высота поперечины.

Для станины из стального литья рекомендуются следующие напряжения:  $[\sigma] = 50 \dots 70$  МПа – для поперечин;  $[\sigma] = 40 \dots 50$  МПа – для стоек.



## Расчет станины на жесткость

При листовой прокатке имеет значение не только прочность сжатия станины, но и ее жесткость, определяемая деформацией стоек и поперечин.

Общая деформация станины в вертикальном направлении складывается из деформаций ее поперечин и стоек (рис.13):

$$f_{\Sigma} = f_1 + f_2 + f_3 < [f],$$

где  $f_1$  – величина деформации стоек, численно равная их удлинению от действия растягивающей силы:

$$f_1 = \frac{Pl_c}{4EF_c};$$

$f_2$  – величина деформации поперечин, численно равная сумме прогибов при изгибе моментом  $M$  :  $f_2 = \frac{l_n^2}{4EJ_n} \left( \frac{Pl_n}{12} - M_0 \right)$  ;

$f_3$  – деформация поперечин, численно равная сумме прогибов при сдвиге от действия поперечных сил:  $f_3 = 1,2 \frac{Pl_n}{4GF_n}$ .

Здесь  $E$  и  $G$  – модули упругости сдвига материала станины:  $E = 2 \cdot 10^5$  МПа;  $G = 75 \cdot 10^3$  МПа,

$F_c$  и  $F_n$  – площади сечения стойки и поперечины.

Для станов холодной прокатки величина  $[f]$  не должна превышать 0,4... 0,5 мм, для станов кварто горячей прокатки – 0,5... 1,0 мм.

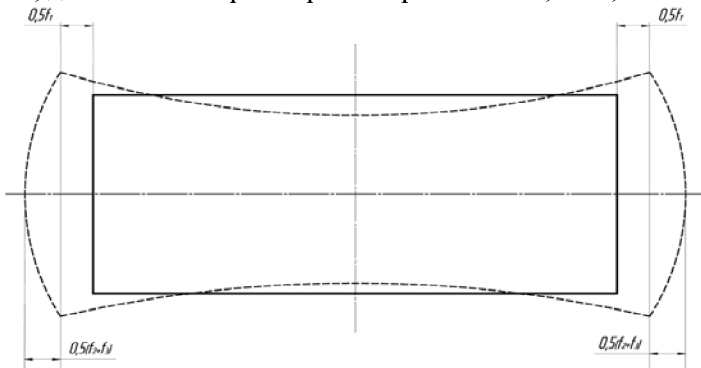


Рис. 13. К расчету жесткости станины

## 7 РАЗРАБОТКА ПЛАНИРОВКИ ЦЕХА

Листопрокатный цех металлургического завода авиационного профиля специализируется на производстве плит, листов, рулонов и лент из алюминиевых сплавов: А0, АД5, АД6, Д1, Д16, В95, АК4, АМц, АМг2, АМг5, АМг6 и др.

Рекомендуемый годовой объем листопрокатного производства металлургического завода алюминиевого проката составляет (в тыс. т.): до 100; св. 100 до 300; св. 300 до 500; св. 500 до 1000.

Листопрокатный цех состоит из отделений и участков. Оборудование в цехе располагается по видам в порядке технологической последовательности выполнения основных операций технологического процесса с учетом минимальной протяженности грузопотоков. Проект листопрокатного цеха включает в себя построение технологического цикла производства листовой продукции, выбор основного производственного оборудования и создание на этой основе развернутого плана цеха [6, 8, 13].

Типовая маршрутная технология производства листовой продукции представлена на рис. 14.

По способу изготовления листы делят на плакированные и неплакированные. По состоянию материала различают листовую продукцию без термической обработки и прошедшую термическую обработку (отжиг, закалку, старение). В зависимости от этих условий для каждого изделия составлен свой маршрут технологического цикла. На рис. 14 показаны возможные маршрутные технологические цепочки и выделена принадлежность их к соответствующему производственному отделению цеха.

Производственная структура листопрокатного цеха представляет собой комплекс производственных и вспомогательных отделений, участков, складских помещений, обеспечивающих полный цикл изготовления продукции с контролем технологического процесса. Состав листопрокатного цеха определяется объемом и способом производства.

## Отдел горячей прокатки

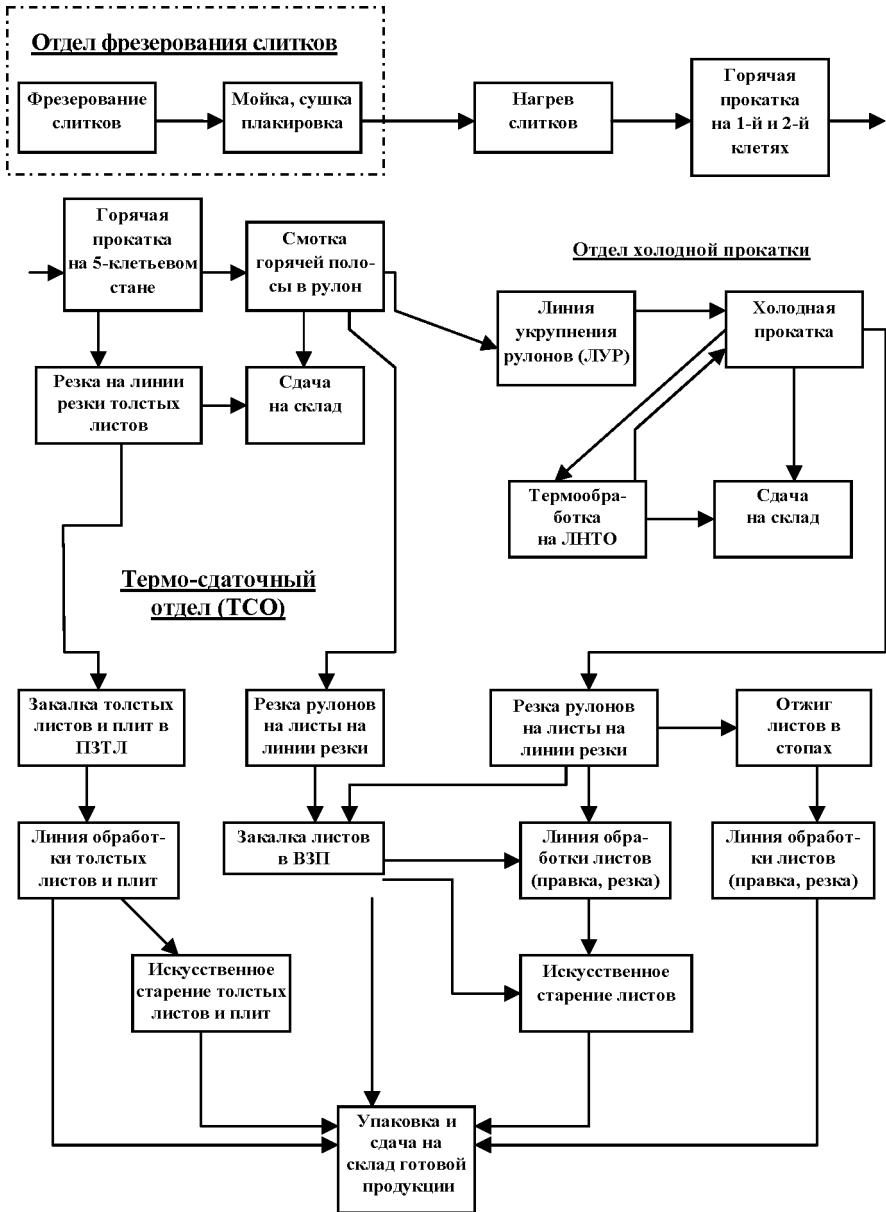


Рис. 14. Маршрутная технология производства листовой продукции из алюминиевых сплавов

Состав листопрокатного цеха:

а) Производственные группы:

- отделение фрезерования слитков;
- отделение горячей прокатки;
- отделение холодной прокатки;
- термосдаточное отделение.

б) Вспомогательные группы:

- участки контроля;
- ремонтные участки: участок цехового механика и энергетика, участок по ремонту технологической оснастки, инструмента и приспособлений;
- цеховая лаборатория механических испытаний.

в) Складские помещения:

- склад слитков;
- склад готовой продукции;
- промежуточные склады;
- склад технологической оснастки и инструмента,
- кладовые вспомогательных материалов, инструмента, приспособлений, химикатов, хозинвентаря, запчастей, оборудования.

г) Административно-технические и бытовые помещения:

- конторы;
- бытовые помещения.

Листопрокатный цех обеспечивается заготовками (слитками), изготовленными в литейном цехе завода.

На рис. 15 и 16 даны примерные планы размещения основного оборудования на производственных участках.

Особенность листопрокатного производства состоит в том, что в прокатных цехах применяют сложные комплексы механического и энергетического оборудования, объединенные в специализированные механизированные линии, управляемые дистанционно и обеспечивающие реализацию принципа поточности производства.

Оборудование листопрокатного цеха подразделяется на три группы: основное, дополнительное (нерасчетное) и вспомогательное. К основному оборудованию относятся все виды технологического оборудования, выполняющие операции основных технологических

процессов: слитко-фрезерные агрегаты, прокатные станы, правильные машины, линии резки, термические печи и т. д. К дополнительному оборудованию относится оборудование, имеющее подсобное назначение при выполнении операций технологического процесса: оборудование лабораторий механических испытаний, неразрушающих методов контроля, металлографической лаборатории и т. д. К вспомогательному оборудованию относится оборудование отделения механика цеха.

Выбор и расстановка основного оборудования осуществляются на основе технологического проектирования и с учетом требований к выпускаемой продукции.

*Отдел фрезерования слитков* предусматривает создание следующих участков: склада слитков (заготовок), участка фрезерования слитков, участка мойки и сушки слитков, участка наложения планшетов на слиток. Слитки заданных размеров из литейного цеха поступают в отдел фрезерования и складываются на складе заготовок стопами до 4...5 м высотой. Площадь склада слитков определяется потребностью единовременного хранения слитков в объеме 4-дневного выпуска продукции цеха. Склад слитков примыкает к линии фрезерования. Линия фрезерования «Кновенагель» оснащена последовательно установленными слитко-фрезерными станками для фрезерования малых и больших граней слитка. Максимальные габариты обрабатываемых слитков составляют 0,6х2,6х6,0 м. Обычно в одной линии с фрезерным агрегатом устанавливают моечно-сушильный агрегат (МСА) и плакировочный агрегат.

Моечно-сушильный агрегат представляет собой две камеры, охватывающие транспортный рольганг, где осуществляется последовательно горячая мойка и сушка движущегося слитка. Скорость движения слитка составляет  $(16,7...50,0) \times 10^{-3}$  м/с.

Участок наложения планшетов на подготовленный слиток включает в себя двухвалковый станок со специальными формующими роликами и рольганг для транспортировки слитка. Края наложенных на большие грани слитка плакирующих планшетов загибаются в сторону боковых граней слитка формующими роликами. Ширина загнутых кромок планшетов составляет 0,1...0,12 м. Далее слиток с наложенными планшетами по рольгангу направляется в печь для нагрева под прокатку.

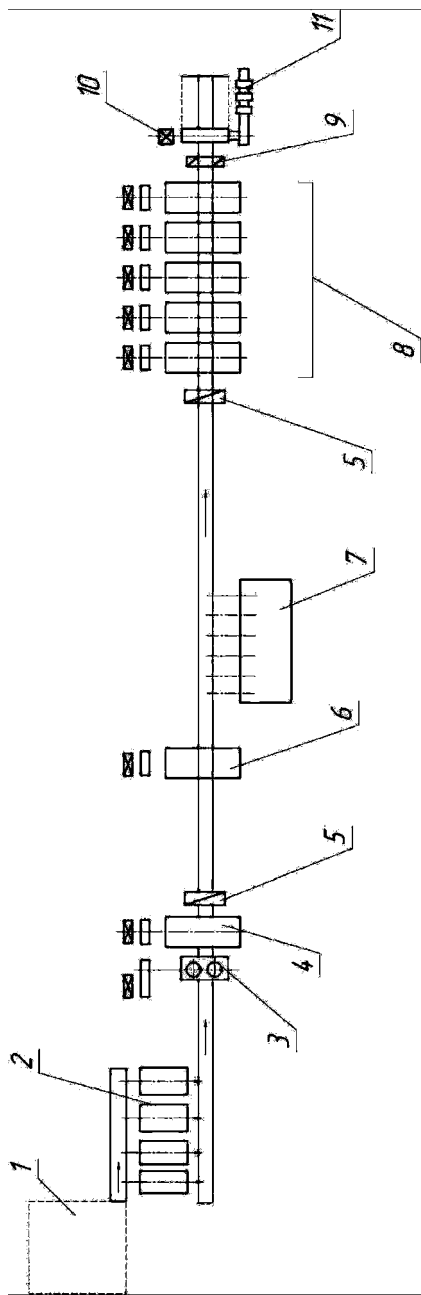


Рис. 15. План-схема расположения семиклетьевого стана горячей листовой прокатки.

- 1 – участок фрезерования, мойки, сушки слитков и наложения планшет; 2 – печи для нагрева слитков; 3 – эджерная клеть; 4 – первая реверсивная клеть; 5 – гильотинные ножницы; 6 – первая реверсивная клеть; 7 – кантователь плит; 8 – 5-клетьевая непрерывная группа; 9 – дисковые ножницы; 10 – моталка для слитков; 11 – транспортер для рулонов

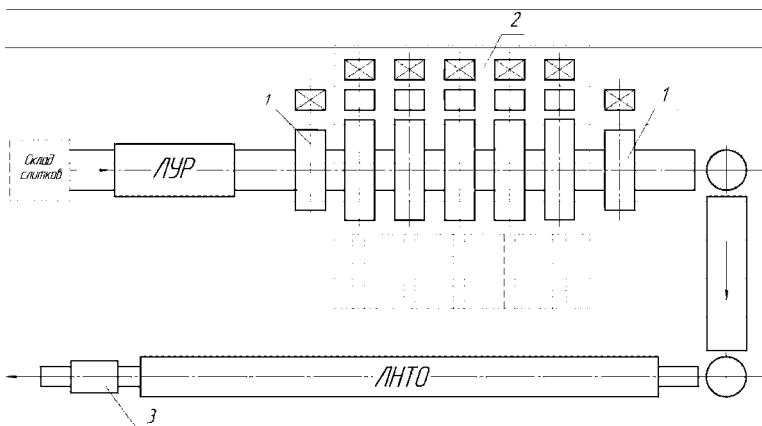


Рис. 16. План-схема расположения пятиклетьевого непрерывного стана холодной прокатки: 1 – моталка; 2 – 5-клетьевого непрерывный стан кварто; 3 – листоукладчик; ЛУР – линия укрупнения рулонов; ЛНТО – линия непрерывной термообработки или резки полосы

**Отдел горячей прокатки** представляет собой установленное в линию следующее оборудование: печь для нагрева слитков, полунепрерывный стан горячей прокатки, линию резки толстых листов, моталки для смотки горячекатаной полосы. Все виды оборудования связаны приводными рольгангами.

На рис. 17 представлен план участка печей для нагрева слитков перед прокаткой. Для нагрева слитков могут применяться электрические конвейерные печи с принудительной циркуляцией воздуха. Нагрев слитков производится в методическом режиме с подгрузкой в определенном темпе холодных слитков и выгрузкой, нагретых или в садочном режиме, когда печь загружается целиком и после нагрева полностью разгружается. Резко повысить производительность участка нагрева слитка позволяет применение вместо конвейерных электрических печей газовых печей с шагающими балками, в которых осуществляется газоструйный нагрев слитков. Печь работает как в садочном, так и в непрерывном режиме.

Нагретые слитки поступают от печи по рольгангу на линию горячей прокатки. Линия горячей прокатки или стан горячей прокатки представляет собой последовательно установленное следующее обо-

рудование: рабочие прокатные клетки, гильотинные и дисковые ножницы, кантователь, подпольные моталки.

Технологическое оборудование может быть расставлено в одну линию или иметь ответвление. Все оборудование объединено воедино транспортными приводными рольгангами и другими передающими устройствами. Расстановка оборудования горячей линии определяется технологическим циклом получения заданного вида проката. Горячая линия по производству плит может иметь одну или две реверсивных клетки кварто и соответствующее оборудование для обрезки концов раската и его транспортировки. Горячая линия по производству толстых листов и тонкой (до 2,5...3 мм) горячекатаной полосы должна содержать черновые реверсивные клетки и непрерывную чистовую группу из 3...6 клеток кварто. Во всех случаях перед первой реверсивной клетью устанавливается эджерная клетка для обжатия боковых граней слитка. Расстановка клетей в полунепрерывном стане и длина раскатных полей определяются из условия получения максимальной производительности его при максимально возможной массе катаемого слитка.

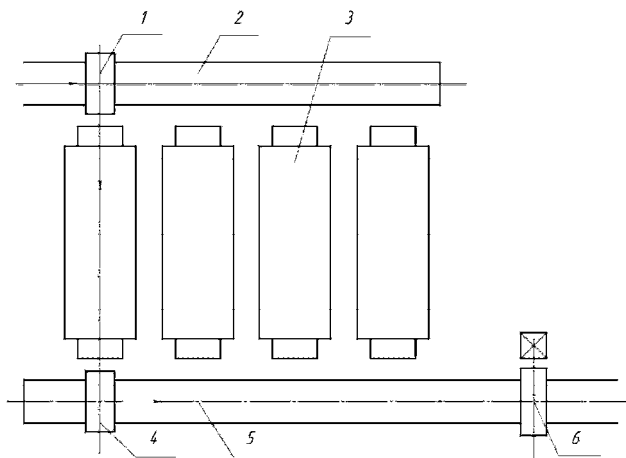


Рис. 17. План-схема участка нагрева слитков перед прокаткой:  
1 – холодный слиток; 2 – рольганг; 3 – печь нагрева слитков;  
4 – горячий слиток; 5 – подающий рольганг прокатного стана;  
6 – клетка стана горячей прокатки



Примером рационального на сегодняшний день размещения клетей полунепрерывного стана является семиклетьевой полунепрерывный стан кварто «2800». Стан имеет эджерную клеть, две отдельно стоящие реверсивные клетки, позволяющие осуществлять также целенаправленное производство плит, кантователь и непрерывную пятиклетьевую группу для чистовой скоростной прокатки полосы. Стан оснащен гильотинными и дисковыми ножницами, имеет рольганг для резки толстых листов и подпольную моталку для смотки горячекатаной полосы. После горячей прокатки плиты и толстые листы направляют в термосдаточный отдел, а смотанные в рулон полосы — на склад готовой продукции в отдел холодной прокатки.

**Отдел холодной прокатки.** Планировка отдела определяется видом стана холодной прокатки и применяемым технологическим оборудованием для реализации полного цикла изготовления холоднокатаной полосы. В зависимости от требований к выпускаемой продукции и заданной толщины полосы отдел холодной прокатки может быть оснащен: реверсивным четырехвалковым одно- или двухклетьевым станом «2800», одноклетьевым нереверсивным станом кварто «2300» или пятиклетьевым непрерывным станом холодной прокатки «1800». В зависимости от вида стана в отделе устанавливается линия укрупнения рулонов (ЛУР), печи отжига полосы в рулоне либо специальные линии непрерывной термообработки полосы (ЛНТО). Последние имеют существенное преимущество перед камерными печами отжига рулонов как по производительности, так и по качеству производимой термической операции. Транспортировка рулонов по отделу холодной прокатки осуществляется посредством напольного конвейера. После окончательной прокатки холоднокатаные рулоны направляют в термосдаточный отдел цеха.

**Термосдаточный отдел** предназначен для осуществления резки полосы на листы мерной длины и необходимой ширины, их термической обработки, правки, придания им товарного вида, контроля, упаковки и сдачи на склад готовой продукции. В зависимости от вида прокатки (холодная или горячая) и технологического маршрута в термосдаточном отделе создаются специализированные линии: линия резки листов, линия закалки и правки листов, линия отделки твердых листов, линия отделки плит и т. д. Термосдаточный отдел оснащен

вертикальными и горизонтальными закалочными печами полистной закалки, печами отжига и старения, многороликовыми и растяжными правильными машинами, гильотинными и дисковыми ножницами, прогладочными станами, кантователями, оборудованием и столами для контроля качества алюминиевого проката. Технологический цикл заканчивается на участке упаковки листов стопами и сдачей их на склад готовой продукции.

Все отделы производственной группы листопрокатного цеха должны иметь участки для временного хранения листового полуфабриката между технологическими операциями (промежуточные склады). В целом планировка цеха должна предусматривать рациональное размещение зон основного производственного оборудования, мест складирования, транспортных путей, проходов, проездов и др. с учетом последовательности технологического процесса и создания оптимальных внутрицеховых потоков.

## 8 РАСЧЕТ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ОТХОДОВ И ВЫХОДА ГОДНОГО\*

### Геометрические отходы при горячей прокатке

Масса изделия, кг:  $M_{изд} = h \cdot B \cdot L \cdot \rho$ ,

где  $h, B, L$  – соответственно толщина, ширина и длина слитка в м,

$\rho$  – плотность в кг/м<sup>3</sup>.

Толщину слитка нужно брать наибольшую возможную:  $H_{сл} = H_{max}$

Большинство алюминиевых сплавов прокатываются вдоль литейной оси. Исключение составляют низкопластичные сплавы. Ширина слитка  $B_{сл} = B + \Delta B + 2h_{фр}$ .

Ее следует брать по табл. 2.

Длину слитка при прокатке вдоль литейной оси следует брать наибольшую возможную:  $L_{сл} = L_{max}$

При прокатке поперек литейной оси ширину нужно брать наибольшую возможную:  $B_{сл} = B_{max}$

Масса исходной заготовки:  $M_{сл} = H_{сл} \cdot B_{сл} \cdot L_{сл} \cdot \rho$ .

Перед прокаткой фрезеруют те грани, на которые накладывают планшеты. Обычно это большие и боковые грани слитка.

Толщина фрезерованного слитка  $H_{фр} = H_{сл} - 2h_{фр}$ .

Ширина фрезерованного слитка  $B_{фр} = B_{сл} - 2h_{фр}$ .

Масса фрезерованного слитка  $M_{фр} = H_{фр} \cdot B_{фр} \cdot L_{сл} \cdot \rho$

Масса стружки  $M_{стр} = M_{сл} - M_{фр}$ .

Ширина планшета:

если боковые грани плакируются,  $B_{пл} = B_{фр} + 2/3H_{фр}$ ,

если боковые грани не плакируются,  $B_{пл} = B_{фр}$

Величина  $B_{пл}$  округляется до целого числа, оканчивающегося на «0».

Длина планшета  $L_{пл} = K \cdot L_{сл}$ . Величина  $L_{пл}$  округляется с избытком до ближайшего целого числа, оканчивающегося на «00».

---

\* Данный раздел подготовил Г.В. Соколов

Масса двух планшето́в  $M_{пл} = 2a \cdot B_{пл} \cdot L_{пл} \cdot \rho$ .

Масса слитка перед прокаткой  $M_o = M_{ф} + M_{пл}$ .

Заправочная масса слитка  $M_{запр} = M_{сл} + M_{пл}$ .

Доля основного материала в заправочной массе слитка:

% осн. материала =  $M_{ф} / M_{запр} \cdot 100\%$ .

Доля материала планшетов в заправочной массе слитка:

% мат. планшетов =  $M_{пл} / M_{запр} \cdot 100\%$ .

Геометрические отходы на стадии фрезерования:

% ГО =  $M_{сгр} / M_{запр} \cdot 100\%$ .

После прокатки в реверсивных клетях перед чистой прокаткой в непрерывной группе обрезаются передний и задний концы раската длиной  $l_{к1}$  по 0,1...0,25 м каждый, толщиной  $h_{к1}$  в соответствии со схемой обжатий, но не более 0,05 м.

Масса обрезки  $M_{к1} = 2h_{к1}l_{к1}B\rho$ .

Плотность обрезки берется равной плотности основного металла, так как доля материала лакирующего слоя в общей массе обрезки невелика.

Геометрические отходы на обрезке концов перед непрерывной группой:

% ГО<sub>1</sub> =  $M_{к1} / M_{запр} \cdot 100\%$ .

Масса раската после обрезки концов  $M_{раск} = M_o - M_{к1}$ .

После прокатки в непрерывной группе у полосы обрезают передний и задний концы длиной  $l_{к2}$  по 0,3...0,75 м каждый, толщиной равной конечной толщине полосы на выходе из последней клетки  $h_{зк}$ .

Масса обрезки  $M_{к2} = 2h_{зк}l_{к2}B\rho$ .

Геометрические отходы на обрезке концов после чистой прокатки:

% ГО<sub>2</sub> =  $M_{к2} / M_{запр} \cdot 100\%$ .

Масса полосы после обрезки концов  $M_{зк} = M_{раск} - M_{к2}$ .

Как правило, горячекатаная полоса сматывается в рулон на моталке с диаметром барабана  $d_{рул} = 0,50...0,75$  м.

Наружный диаметр рулона:

$$D_{рул} = \sqrt{\frac{4M_{з/к}}{\pi B \rho} + d_{рул}^2}.$$

Длина горячекатаной полосы:

$$L_{з/к} = \frac{M_{з/к}}{h_{з/к} B \rho}.$$

Наружный и внутренний витки рулона часто повреждаются при транспортировке и обрезаются.

Длина внутреннего витка рулона  $l_{к\text{ внутр}} = \pi d_{рул}$

Длина наружного витка рулона  $l_{к\text{ нар}} = \pi D_{рул}$

Длина концевой обрезки  $l_{кз} = l_{к\text{ внутр}} + l_{к\text{ нар}}$

Длина годной полосы  $L_{годн} = L_{з/к} - l_{кз}$

Допуск на длину листа  $\Delta_1$ .

Припуск по длине листа на обрезку захваток растяжной правильной машины  $\Delta l$  составляет в среднем 0,080...0,120 м. Если правки растяжением нет, припуск по длине листа не задается.

Длина листа после разрезки полосы на листы  $l_{л} = l + \Delta l + \Delta_1$ .

Количество целых годных листов, полученных из рулона, шт:

$$n_{годн} = \frac{L_{годн}}{l_{л}}.$$

Дробную часть отбрасывают. Она представляет собой отход на не-кратность.

Высота стопы листов, полученных из одного рулона,

$$H_{рул} = h_{зот} \cdot n_{годн}$$

Количество рулонов в стопе  $n_{рул} = H_{ст} / H_{рул}$

где  $H_{ст}$  – наибольшая высота стопы, которая берется из технической характеристики линии.

Количество листов в стопе  $n_{л} = H_{ст} / h_{зот}$

Толщина готовой полосы  $h_{зот} = h - \Delta_2 / 2$ ,

где  $\Delta_2$  – минусовой допуск на толщину листа.

Масса одного листа после разрезки рулона  $M_{л} = h_{зот} \cdot b \cdot l_{л} \cdot \rho$ .

Масса стопы  $M_{ст} = M_{л} \cdot n_{л}$ .

Масса годных листов, полученных из одного рулона  $M_{годн} = M_{л} \cdot n_{годн}$ .

Масса обрезки при резке на листы  $M_{обр1} = M_{л} - M_{годн}$ .

Геометрические отходы при резке на листы:

$$\%ГО_3 = M_{обр1} / M_{запр} \cdot 100\%.$$

Масса готовых листов, полученных из одного рулона:

$$M_{гот} = M_{изд} \cdot n_{годн}.$$

Масса обрезки при обрезке захваток  $M_{обр2} = M_{годн} - M_{гот}$ .

Геометрические отходы при обрезке захваток:

$$\%ГО_4 = M_{обр2} / M_{запр} \cdot 100\%.$$

Всего геометрических отходов в кг:

$$M_{го} = M_{стр} + M_{к1} + M_{к2} + M_{обр1} + M_{обр2}.$$

Всего геометрических отходов в %:

$$\%ГО_{общ} = \%ГО_{ф} + \%ГО_1 + \%ГО_2 + \%ГО_3 + \%ГО_4.$$

Проверка:

$$\%ГО_{общ} = M_{ГО} / M_{запр} \cdot 100\%.$$

### Геометрические отходы при холодной прокатке

Как правило, исходной заготовкой для холодной прокатки является горячекатаная полоса, свернутая в рулон. Толщина исходной заготовки в зависимости от толщины изделия составляет  $h_{заг} = 0,003 \dots \dots 0,010$  м и, как правило, указывается в схеме обжатий.

Припуск по ширине на обрезку кромок:

для мягких сплавов  $\Delta b = 0,030 \dots 0,060$  м,

для труднодеформируемых сплавов  $\Delta b = 0,060 \dots 0,120$  м.

Ширина исходной заготовки  $B = b + \Delta b$ .

Длина исходной заготовки:

$$L_{заг} = \frac{M_{заг}}{h_{заг} b \rho}.$$

При непрерывной прокатке в обрезь уходят наружный и внутренний витки рулонов:  $l_{к} \geq l_{к\text{ внутр}} + l_{к\text{ нар}}$

Длина наружного витка рулона  $l_{к\text{ нар}} = \pi D_{рул}$

$$\text{где } D_{рул} = \sqrt{\frac{4M_{зас}}{\pi b \rho} + d_{рул}^2}.$$

Длина внутреннего витка рулона  $l_{к\text{ внутр}} = \pi d_{рул}$

где  $d_{рул} = 0,50 \dots 0,75 \text{ м}$ .

При реверсивной прокатке в обреш уходят недокатанные концы. Расстояние от валков до моталок, которое берется из технической характеристики стана, является половиной величины  $l_{недокат}$

Толщина недокатанных концов определяется из схемы обжати и равна  $h_{недокат} \geq 0,003 \text{ м}$ .

Приведенная длина недокатанных концов:

$$l_{прив} = \frac{l_{недокат} h_{недокат}}{h_{гот}}.$$

Длина концевой обреш при реверсивной прокатке  $l_{к} = l_{прив}$

Длина готовой полосы без учета недокатанных концов:

$$L_{гот} = \frac{M_{зас}}{h_{гот} b \rho}.$$

Длина годной полосы после обрезки концов:  $L_{годн} = L_{гот} - l_{к}$ .

Длина листа после разрезки полосы на листы определяется по аналогии с длиной листа при горячей прокатке. Припуск по длине листа на обрезку захваток растяжной правильной машины  $\Delta l$  составляет в среднем  $0,060 \dots 0,120 \text{ м}$ .

Масса обреш при резке на листы  $M_{обр1} = M_{зас} - M_{годн}$

Геометрические отходы при резке на листы:

$$\%ГО_1 = M_{обр1} / M_{зас} \cdot 100\%.$$

Геометрические отходы при резке захваток:

$$\%ГО_2 = M_{обр2} / M_{зас} \cdot 100\%.$$

Величины  $h_{годн}$ ;  $M_{л}$ ;  $M_{годн}$ ;  $M_{гот}$ ;  $M_{обр2}$  определяются по формулам, приведенным выше.

Всего геометрических отходов:  $M_{го} = M_{обр1} + M_{обр2}$ ;

$$\%ГО = \%ГО_1 + \%ГО_2.$$

Проверка:  $\%ГО = M_{го} / M_{зас} \cdot 100\%$ .

## Расчет коэффициента выхода годного и общего запуска на 1 т годного

Как указывалось выше, к геометрическим отходам относятся все виды обрезки, а именно: концы, образцы для испытаний, кромка, не-кратность, стружка.

К технологическим отходам (*ОТ*) относятся отходы в брак, на настройку и наладку оборудования, отработку режимов операций, а также на исследовательские темы. Количество отходов по операциям устанавливается из опыта производства аналогичной продукции.

Всего отходов на операции  $\%ОТХ = \%ГО + \%ТО$ .

Коэффициент выхода годного от заготовки  $K_{вз} = \%ЗАП - \%ОТХ$ .

Выход годного на данной операции является запуском на последующую операцию. Выход годного на последней операции является общим выходом годного ( $K_{взобщ}$ ).

Всего отходов в технологическом процессе:

$$\%ОТХ_{общ} = \%ГО_{общ} + \%ТО_{общ}.$$

Общий коэффициент запуска  $K_{з общ} = 100 / K_{вз общ}$

Общий запуск на 1т годного в кг:  $M_{зап общ} = 1000 K_{з общ}$

Масса геометрических отходов на операции на 1т годного:

$$M_{ГО} = M_{зап общ} / 100 \cdot \%ГО.$$

Масса технологических отходов на операции на 1т годного:

$$M_{ТО} = M_{зап общ} / 100 \cdot \%ТО.$$

Общая масса отходов на операции на 1т годного:

$$M_{ОТХ} = M_{ГО} + M_{ТО}.$$

Выход после операции на 1т годного:

$$M_{вых} = M_{зап} + M_{отх}.$$

Выход на последней операции технологического процесса должен составлять 1000,0 кг.

Заправочный коэффициент на операции:

$$K_з = M_{вых} / 1000.$$

Общая масса геометрических отходов на 1т годного:

$$M_{ГО общ} = \sum M_{ГО}.$$



Общая масса технологических отходов на 1т годного:

$$M_{TO\text{ общ}} = \sum M_{TO}$$

$$M_{OTX\text{ общ}} = M_{ГО\text{ общ}} + M_{ТО\text{ общ}}$$

Проверка:

$$M_{ГО\text{ общ}} = M_{зап\text{ общ}} / 100 \%ГО_{\text{общ}}$$

$$M_{ТО\text{ общ}} = M_{зап\text{ общ}} / 100 \%ТО_{\text{общ}}$$

К первому сорту относятся кусковые отходы технического алюминия. Общая масса отходов на 1т годного 1 сорта:

$$M_{отх\ 1\text{ сорт}} = \sum M_{отх\text{ куск } Al}$$

Ко второму сорту относятся кусковые отходы сплавов. Общая масса отходов на 1т годного 2 сорта:

$$M_{отх\ 2\text{ сорт}} = \sum M_{отх\text{ куск спл}}$$

К третьему сорту относится стружка технического алюминия и сплавов. Общая масса отходов на 1т годного 3 сорта:

$$M_{отх\ 3\text{ сорт}} = M_{стр}$$

Соответственно в %:

$$\%OTX_{1\text{ сорт общ}} = \sum \%OTX_{1\text{ сорт по опер}}$$

$$\%OTX_{2\text{ сорт общ}} = \sum \%OTX_{2\text{ сорт по опер}}$$

$$\%OTX_{3\text{ сорт общ}} = \sum \%стр.$$

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

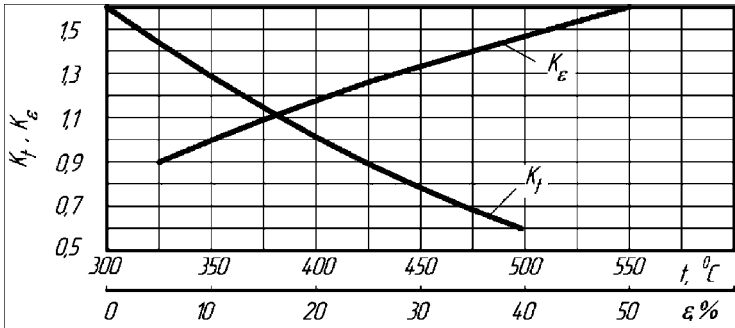
1. Арышенский, Ю.М. Получение рациональной анизотропии в листах [Текст]: / Ю.М. Арышенский, Ф.В. Гречников, В.Ю. Арышенский. – М.: Металлургия, 1987. – 141 с.
2. Алюминиевые сплавы. Структура и свойства полуфабрикатов из алюминиевых сплавов [Текст]: справочник / под ред. В.А. Ливанова. – М.: Металлургия, 1974. – 432с.
3. Башлыков, В.А. Валки станов листовой продукции прокатки авиационных материалов [Текст]: учеб. пособие / В.А. Башлыков, Н.П. Морозов. – Куйбышев: КуАИ, 1979. – 58с.
4. Башлыков, В.А. Технология листовой прокатки [Текст]: учеб. пособие. – Куйбышев: КуАИ, 1975. – 163 с.
5. Белов, С.В. Безопасность жизнедеятельности [Текст]: учеб. пособие / С.В. Белов, А.В. Ильницкая, А.Ф. Козьяков [и др.]. – М.: Высш. шк., 1999. – 448 с.
6. Глухов, В.В. Организация прокатного производства [Текст]: учеб. пособие. – СПб.: Изд-во «Лань», 2001. – 368с.
7. Грудев, А.П. Теория прокатки [Текст]. – М.: Интернет Инжиниринг, 2001. – 280 с.
8. Долин, П.А. Справочник по технике безопасности [Текст]. – М.: Энергоиздат, 1982.– 800 с.
9. Козий, С.И. Элементы проектирования цехов ОМД в авиационном строительстве [Текст]: – учеб. пособие / С.И. Козий, Т.Б. Козий, В.Р. Каргин. – Куйбышев: КуАИ, 1989. – 99с.
10. Колачев, Б.А. Металловедение и термическая обработка цветных металлов и сплавов [Текст]: учеб. пособие / Б.А. Колачев, В.А. Ливанов, В.И. Елагин. – М.: Металлургия, 1998. – 480с. .
11. Колпашников, А.И. Прокатка листов из легких сплавов [Текст]: учеб. пособие. – М.: Металлургия, 1970. – 232 с.
12. Копнов В.И. Автоматизированное управление процессом прокатки алюминиевых сплавов [Текст]: учеб. пособие / В.И. Копнов, М.Б. Оводенко, Ф.В. Гречников. – Куйбышев: КуАИ, 1989. – 73 с.

13. Копнов, В.И. Прокатка алюминиевых сплавов [Текст]: / В.И. Копнов, М.Б. Оводенко, Ф.В. Гречников. – М.: Metallurgy, 1992. – 269 с.
14. Королев, А.А. Механическое оборудование прокатных и трубных цехов. [Текст]: учебник для вузов. – М.: Metallurgy, 1987. – 480 с.
15. Лапшов, М.В. Техничко-экономические расчеты в дипломном проектировании листопрокатного цеха [Текст]: метод. указания к дипломному проектированию. – Самара: СГАУ, 2004. – 27 с.
16. Лахтин, Ю.М. Metallovedenie i termicheskaya obrabotka metallorv [Текст] / Ю.М. Лахтин. – М.: Metallurgy, 1983. – 360 с.
17. Мальцев, М.В. Metallografiya promyshlennorv cvetnorv materialorv i spлавorv [Текст]: учеб. пособие / М.В. Мальцев. – М.: Metallurgy, 1970. – 367 с.
18. Меерович, И.М. Прокатка плит и листов из легких сплавов [Текст]: учеб. пособие / И.М. Меерович. – М.: Metallurgy, 1969. – 264 с.
19. Морозов, В.В. Безопасность жизнедеятельности [Текст]: – метод. указания для дипломного проектирования / В.В. Морозов, Т.Б. Козий, С.С. Козий. – Самара: СГАУ, 2000. – 19 с.
20. Рудской, А.И. Теория и технология прокатного производства [Текст]: учеб. пособие / А.И. Рудской, В.А. Лунев. – СПб.: Наука, 2008. – 527 с.
21. Сорокин, В.Г. Марочник сталей и сплавов [Текст]: справочник / В.Г. Сорокин, А.В. Волосникова, С.А. Вяткин. – М.: Машиностроение, 1989. – 640 с.
22. Справочная книга по охране труда в машиностроении [Текст]: / под ред. О.Н. Русака. – Л.: Машиностроение, 1989. – 541 с.
23. Структура и свойства полуфабрикатов из алюминиевых сплавов [Текст]: справочник / З.Н. Арчакова, Г.А. Балахонцев, И.Г. Басова [и др.]. – М.: Metallurgy, 1984. – 408 с.
24. Уваров, В.В. Структура и свойства обрабатываемых материалов [Текст]: метод. указания к дипломному проектированию / В.В. Уваров. – Самара: СГАУ, 2003. – 32 с.

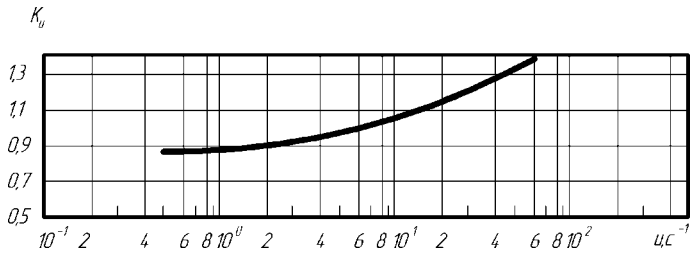
25. Федосов, Н.М. Проектирование прокатных цехов [Текст]: учеб. пособие для вузов / Н.М. Федосов, В.Н. Бринза, И.Г. Астахов. – М.: Metallurgy, 1983. – 303с.
26. Целиков, А.И. Основы теории прокатки [Текст] / А.И. Целиков. – М.: Metallurgy, 1965. – 247 с.
27. Теория прокатки [Текст]: справочник / А.И. Целиков, А.Д. Томленов, В.И. Зюзин [и др.]. – М.: Metallurgy, 1982. – 335 с.
28. Шор, Э.Р. Производство листов из алюминиевых сплавов [Текст] / Э.Р. Шор. – М.: Metallurgy, 1967. – 320 с.
29. СТО СГАУ 02068410-004-2007. Общие требования к учебным текстовым материалам [Текст]. Введ.2007.10.09. – Самара: Изд-во СГАУ, 2007. – 29 с.

## ПРИЛОЖЕНИЕ

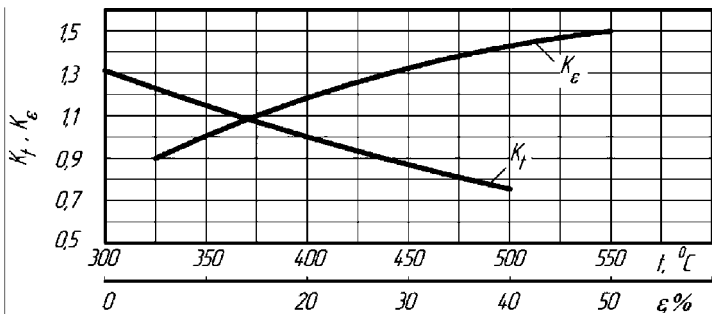
Значения коэффициентов  $K_\varepsilon$ ,  $K_T$  и  $K_u$  для сплавов А5 (а, б),  
АМЦ (в, г), АМГ2 (д, е), Д16(ж, з)



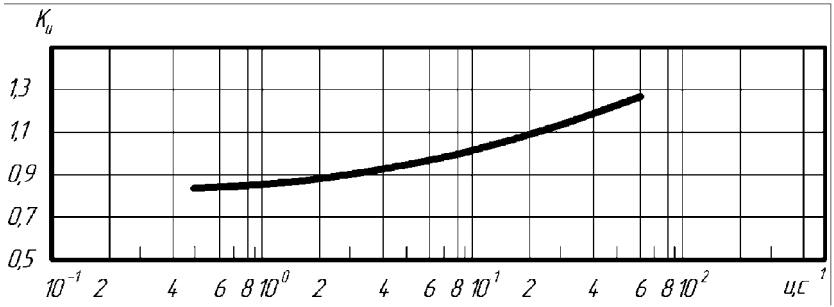
а)



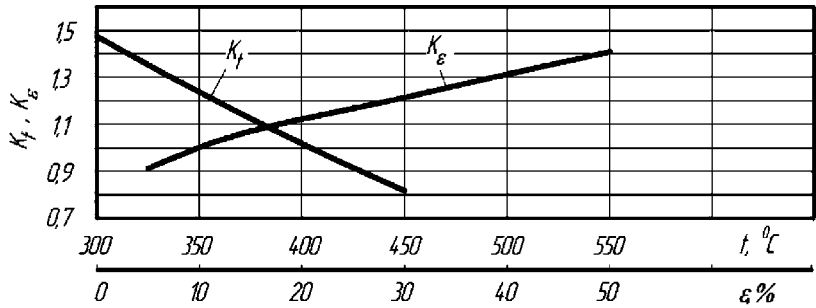
б)



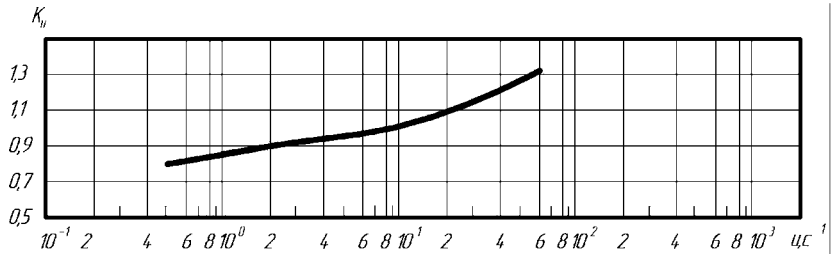
в)



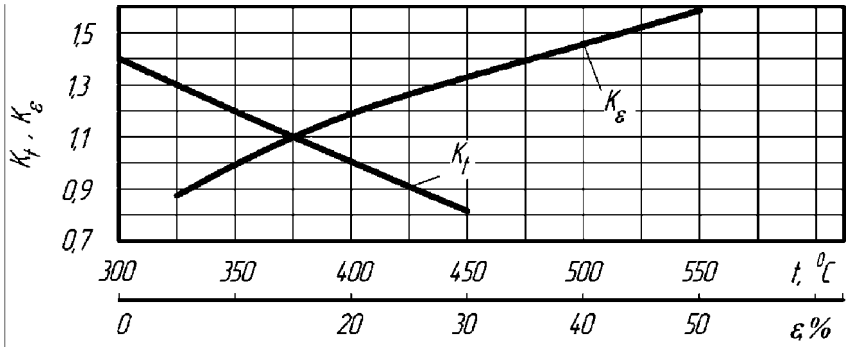
г)



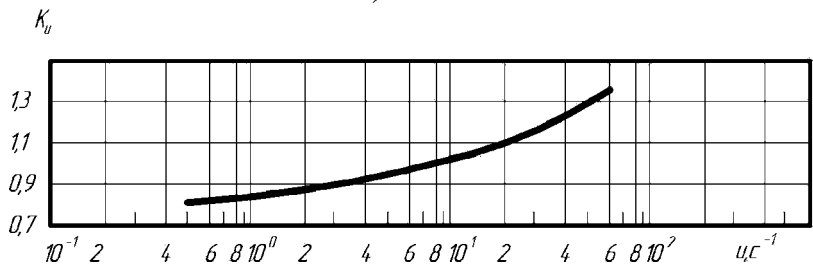
д)



е)



ж)



з)

Учебное издание

*Каргин Владимир Родионович  
Чертков Геннадий Вячеславович  
Осиновская Ирина Васильевна*

**ДИПЛОМНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ  
ЛИСТОПРОКАТНЫХ ЦЕХОВ**

*Учебное пособие*

Редактор Л. Я. Ч е г о д а е в а  
Доверстка Т. Е. П о л о в н е в а

Подписано в печать 28.10.2010. Формат 60x84 1/16.

Бумага офсетная. Печать офсетная.

Печ. л. 6,5.

Тираж 100 экз. Заказ . Арт. С-9/1/2010.

Самарский государственный  
аэрокосмический университет,  
443086 Самара, Московское шоссе, 34.

---

Изд-во Самарского государственного  
аэрокосмического университета,  
443086 Самара, Московское шоссе, 34.



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

**В.Р. Каргин, Г.В. Чертков, И.В. Осиновская**

**ДИПЛОМНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ  
ЛИСТОПРОКАТНЫХ ЦЕХОВ**

**САМАРА 2010**