

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО  
СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ РСФСР

КУЙБЫШЕВСКИЙ ордена ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ  
АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ имени АКАДЕМИКА С. П. КОРОЛЕВА

*В. И. Копнов, М. Б. Оводенко, Ф. В. Гречников*

АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ  
УПРАВЛЕНИЕ  
ПРОЦЕССОМ ПРОКАТКИ  
АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ

*Учебное пособие*

*Автоматизированное управление процессом прокатки алюминиевых сплавов: Учеб. пособие / В. И. Копнов, М. Б. Оводенко, Ф. В. Гречников, Куйбыш. авиац. ин-т. Куйбышев, 1989. 40 с.*

Рассматриваются системы, механизмы и устройства, необходимые для автоматизированного управления технологическим процессом прокатки. Составлена и проанализирована математическая модель процесса, позволяющая передать функции управления и контроля ЭВМ. Приведены структурные схемы управления, регулирования и комплексного взаимодействия всех систем и параметров, обеспечивающих процесс непрерывной прокатки в пятиклетевом стане.

Пособие предназначено для студентов специальности 1108, обучающихся по специализации «Автоматизация прокатно-прессового производства». Оно может быть полезно также студентам основного потока, слушателям ФПК и студентам вечернего отделения, специализирующимся по прокатно-прессовому производству.

Табл. 1. Ил. 17. Библиогр. 4 назв.

Печатается по решению редакционно-издательского совета института

Рецензенты: канд. техн. наук Е. М. Макаров,  
канд. техн. наук Г. Г. Москвичев

---

## ВВЕДЕНИЕ

Ускорение темпов научно-технического прогресса и постоянное расширение областей применения листов из алюминиевых сплавов обуславливают резкое повышение требований к качеству проката. Особенно это относится к величине и характеру распределения физико-механических свойств, высокой точности размеров по толщине, минимизации разнотолщинности и планшетности, качеству и однородности поверхности листов, плит и лент.

В ряде случаев с целью интенсификации процессов штамповки и повышения эксплуатационных характеристик изделий ставится задача производства листов с требуемым набором свойств для конкретного применения.

Для получения в полуфабрикате заданной совокупности свойств необходимо в процессе прокатки жестко контролировать все основные параметры, обеспечивать четкое реагирование механизмов, систем и агрегатов прокатного стана на отклонения от заданного технологией режима или показателя качества.

Выполнение перечисленных и ряда других задач в условиях непрерывного повышения производительности станов возможно лишь путем автоматизации управления процессом прокатки, передачи функций регистрирования информации, принятия решения и выдачи управляющих команд исполнительным органам быстродействующей ЭВМ.

В существующей учебной литературе отсутствует достаточно полная информация, отражающая современный уровень АСУ технологическим процессом прокатки (АСУПП), поэтому в данном пособии излагаются в едином методическом аспекте имеющиеся сведения по системам автоматизированного управления, используемым в отечественном и зарубежном прокатном производстве.

# *1. ОСНОВНЫЕ УСТРОЙСТВА И СИСТЕМЫ СТАНОВ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИЕ ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ АСУПП*

## *1.1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ*

Современные прокатные станы представляют собой совокупность сложнейших систем, агрегатов и устройств, управляемых ЭВМ.

Дальнейшее совершенствование процессов прокатки направлено, в первую очередь, на повышение их производительности при одновременном ужесточении требований к точности размеров проката и увеличении выхода годной продукции. Повышение производительности достигается путем увеличения скорости прокатки с 4—6 м/с до 20—30 м/с и сокращения непродуктивного вспомогательного времени (например, времени, затрачиваемого на смену валков). Высокая точность размеров полосы обеспечивается постоянством раствора рабочих валков, устройством контроля толщины, а также системами противоизгиба валков и регулирования подачи смазочно-охлаждающей жидкости (СОЖ). Показатели выхода годной продукции улучшаются при увеличении массы рулонов и сокращении концевых отходов, причиной которых являются резкие отклонения в размерах полосы как в период разгона стана, так и в конце прокатки.

На рис. 1. представлен общий вид исполнительных механизмов, применяемых в современных конструкциях станов. Для точной установки в горизонтальном положении вдоль бочки валка и балансировки рабочих валков используется специальный балансирующий цилиндр рабочих валков 1. Для фиксации валков в этой же горизонтальной плоскости в направлении оси прокатки применяют специальные гидравлические затворы 2. Для изгиба рабочих валков в специальных подушках смонтированы гидравлические цилиндры 3. Количество цилиндров зависит от величины давления в системе привода цилиндров и требуемой нагрузки противоизги-

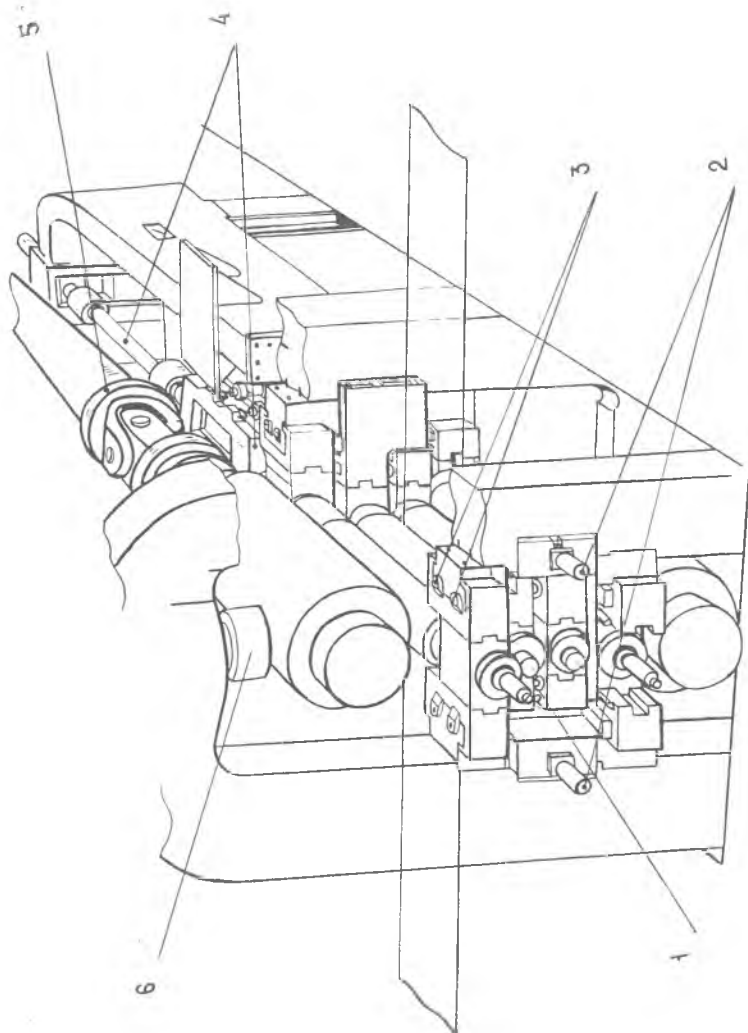


Рис. 1. Общая схема механизмов, применяемых в современных конструкциях станков

ба. Замену рабочих валков осуществляют специальными гидроштоками 4, смонтированными вдоль бочки валка. Перемещение валков при перевалке направлено в сторону обслуживания стана (т. е. туда, где расположены пульта и обслуживающий персонал). Вращение валков осуществляют электромеханическим приводом с передачей момента с помощью шарнира Гука 5.

Ясно, что оператору управлять вручную процессом прокатки на таких высоких скоростях при одновременной фиксации и управлении множеством самых различных параметров, обеспечивающих поставленные требования, физически невозможно. Поэтому на современных станах роль оператора выполняет быстродействующая ЭВМ, что и позволило, в частности, резко поднять их производительность и качество продукции. В свою очередь, применение ЭВМ изменило традиционные представления о конструкции станов, назначении различных систем, механизмов и требований к ним.

Для осуществления процесса прокатки в условиях АСУ на стане необходимы прежде всего следующие основные устройства и системы:

- гидравлическое нажимное устройство прямого действия;
- система измерения и регулирования раствора валков;
- система регулирования толщиной проката;
- устройство для противоизгиба рабочих валков;
- механизм, обеспечивающий легкую и быструю замену рабочих и опорных валков в автоматическом режиме;
- система очистки и раздачи СОЖ;
- опорные подшипники валков, способные выдерживать высокие нагрузки, длительный срок службы и минимальную эксцентricность вращения [1].

Эта техника в настоящее время применяется как при сооружении новых станов, так и при модернизации существующих.

## *1.2. ГИДРАВЛИЧЕСКОЕ НАЖИМНОЕ УСТРОЙСТВО*

Обычные клетки с винтовым нажимным устройством оснащают дополнительным гидравлическим, которое устанавливается в виде вставного блока между верхними подушками опорных валков и нажимными винтами. Ход гидроцилиндра составляет 15—25 мм. Измерение раствора валков осуществляют посредством измерительных датчиков, которые контактируют с измерительными шейками. Система регулирования удерживает посредством гидравлического нажимно-

го устройства раствор валков постоянным и при изменяющейся нагрузке.

Предварительно напряженные клетки (ПНК), которые строились примерно с 1950 года по 1970 год, заменяются клетями со станинами, оснащенными гидравлическим нажимным устройством и всей техникой, описанной выше. Предварительно напряженная конструкция возникла в свое время с целью создания компактных и малодеформирующихся клетей и уменьшения до минимума пружинения клетки. В то время они были вполне оправданны до тех пор, пока нельзя было реализовать гидравлическое нажимное устройство прямого действия, сервогидравлику, устройства измерения и регулирования раствора валков.

Благодаря гидравлическому нажимному устройству прямого действия компенсируется не только упругое пружинение клетки, но и валкового узла, опорных узлов. Нерегулируемыми остаются только погрешности от прогиба и сплющивания валков. Для регулирования прогиба валков, возникающего от сил давления металла на валки, применяют устройство для изгиба рабочих и опорных валков.

Гидравлическое устройство для противонизгиба рабочих валков обеспечивает эффективную коррекцию бочки и тем самым позволяет корректировать профиль полосы.

Изгибающие цилиндры установлены в жестких направляющих блоках, вставленных в станины, и оснащены трубопроводами.

### *1.3. ПЕРЕВАЛКА РАБОЧИХ И ОПОРНЫХ ВАЛКОВ*

Для смены рабочих валков не требуется разъединять шланговые присоединения или т. п. Рабочие валки вводятся и выводятся по встроенным в клетку направляющим, которые выполнены в виде балок с соплами для подачи СОЖ к валкам. Для перевалки (смены) рабочих валков к клетке подводится сменная тележка с новым подготовленным комплектом рабочих валков. Время для смены валков составляет 3—5 минут.

Комплект опорных валков устанавливают в клетку на сменных салазках, которые также имеют устройство для компенсации рабочей высоты в результате перешлифовки валков. На этих сменных салазках комплект опорных валков гидравлически выводится из клетки, заменяется, и новый комплект валков вводится в клетку. Замена опорных валков занимает особенно много времени у клетей предварительно напряженной конструкции.

Приводные шарнирные валы гидравлически устанавливаются для смены валков (рабочих и опорных) в фиксированное положение по высоте и поворачиваются так, что происходит точный ввод приводных цапф валков в сцепные головки.

#### *1.4. ОПОРНЫЕ УЗЛЫ ВАЛКОВ (ПОДШИПНИКИ)*

В области техники подшипников качения увеличены коэффициенты работоспособности благодаря применению улучшенных материалов и методов изготовления, дающих более высокую точность concentricности вращения.

Подшипники качения (преимущественно многорядные с цилиндрическими роликами) применяются для умеренных нагрузок и чисел оборотов. Они более удобны в эксплуатации, чем подшипники жидкостного трения, которые используются при высоких скоростях вращения и высоких нагрузках. Эти подшипники требуют снабжения маслом с фильтрацией и охлаждением. При использовании подшипников жидкостного трения необходимо учитывать изменение зазора между валками за счет всплывания их при увеличении скорости.

Только благодаря наличию в конструкции станов вышеописанных систем, устройств и механизмов процессом прокатки можно управлять с помощью автоматизированных систем.

В автоматизированные системы входят также целая серия приборов, датчиков и локальных систем, с помощью которых получают информацию для переработки в ЭВМ, принятия решения и выдачи команд на исполнительные органы и механизмы. К ним, в первую очередь, относятся системы: управления планшетностью; регулирования толщины; СОЖ и др.

## *2. СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ, КОНТРОЛЯ И РЕГУЛИРОВАНИЯ КАЧЕСТВОМ ПРОКАТА*

### *2.1. СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ПЛАНШЕТНОСТЬЮ*

Прибор оценивает планшетность ленты (полосы) между двумя направляющими роликами большим количеством датчиков, оснащенных алмазными вставками (рис. 2). Количество датчиков согласовывается с максимальной шириной ленты. Воспроизводимое индуктивными измерительными датчи-



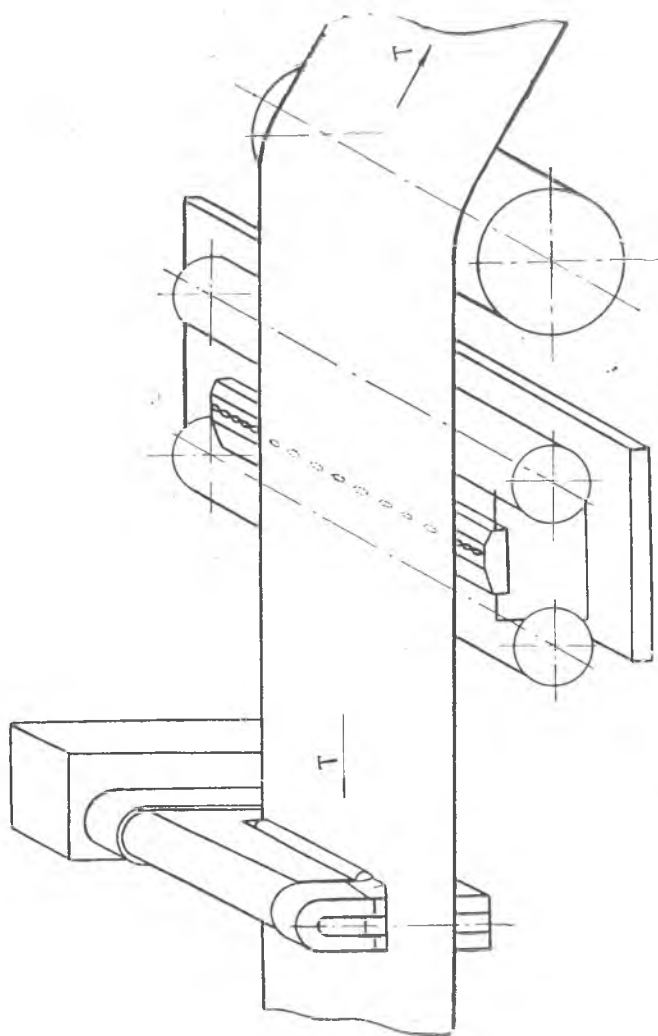


Рис. 2. Прибор для измерения планштности

ками на экране цветное изображение формы сечения ленты, находящейся под натяжением, является масштабно уменьшенным отображением непланшетности листа, который был бы отрезан от ленты в данном месте. На рис. 3 показана волнистость в центре полосы, т. е. середина полосы имеет уменьшение толщины и увеличение длины по сравнению с краями.

Результаты измерения, воспроизводящие изображение, подводятся к автоматической системе регулирования планшетности. В верхней части экрана дисплея показываются все три процесса регулирования: регулирование сторон нажимными винтами, противонзгиб валков, охлаждение по зонам, которые срабатывают независимо друг от друга, в соответствии измеренному отклонению от планшетности.

На рис. 4 показано, как при изменении формы между рабочими валками образуются дефекты планшетности. При положительном изгибе валков (рис. 4, а) зазор между валками уменьшается по краям полосы, в результате чего крайние волокна полосы имеют меньшую толщину и большую длину по сравнению с центральной частью полосы.

При отрицательном изгибе (рис. 4, б) зазор между валками уменьшается по центру полосы. Поэтому в центральной части полоса получается тоньше и увеличивается по длине, в результате чего возникает коробчатость полосы в центре.

В промежуточных областях (рис. 4, в) в результате сложной деформации рабочих валков зазор между валками изменяется по более сложному закону с утонением полосы на некотором расстоянии от краев.

Разогрев валков от тепловыделения при деформации и охлаждение их СОЖ дают еще более сложный характер формирования дефектов планшетности (рис. 4, г).

Для обеспечения требуемой планшетности используют одновременно противонзгиб, распределение СОЖ и систему оценки планшетности.

Цветные символы сверху телеизображения (см. рис. 3) сигнализируют, какие процессы в данный момент в действии. Каждые 250—300 миллисекунд появляется новое телеизображение о новом состоянии планшетности ленты. Этот прибор позволяет значительно повысить производительность прокатной клетки и обеспечивает постоянное качество при одновременной разгрузке персонала, обслуживающего прокатный стан.

Достижимую планшетность ленты нельзя предсказать. Она в основном зависит от поперечного профиля исходной ленты, формы шлифованных валков, состояния опорных узлов валков, параллельности валков по отношению к направ-

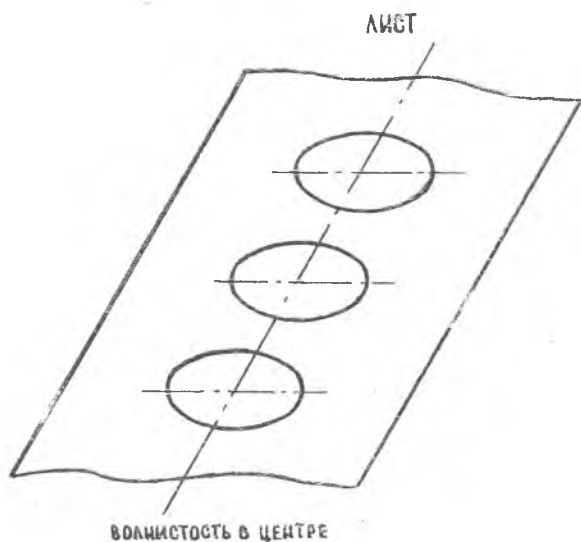
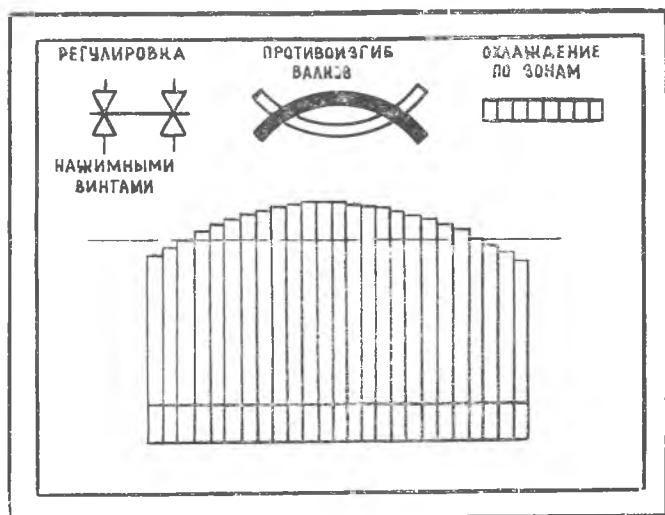


Рис. 3. Волнистость полосы и ее регулирование нажимными винтами, противоизгибом, охлаждением

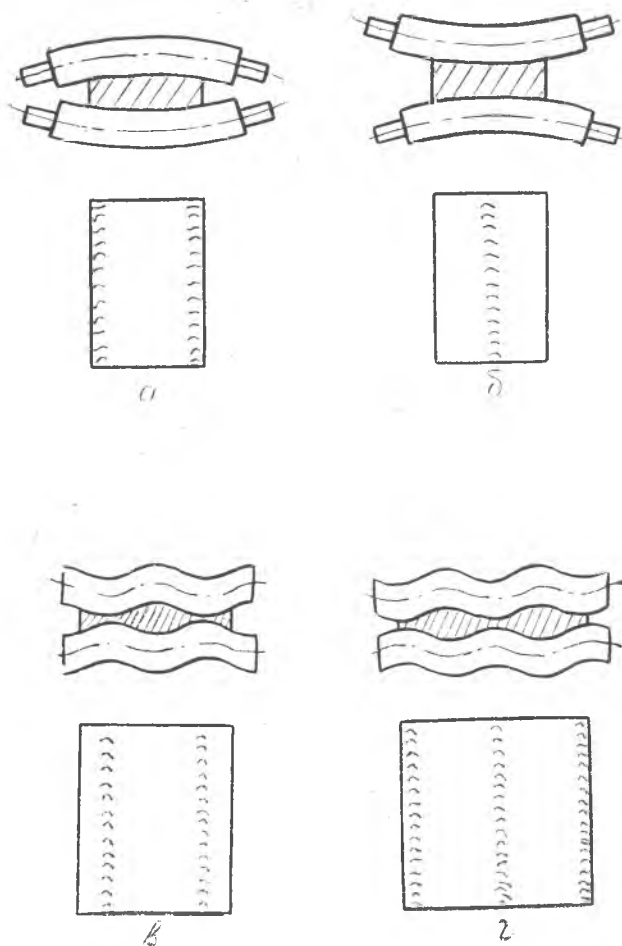


Рис. 4. Дефекты планшетности в зависимости от характера прогиба рабочих валков

ляющему ролику и моталке, эффективности охлаждения.

Точность измерительной системы составляет  $\pm 1$  unit.

Лист длиной 1 м имеет планшетность, равную 1 unit, если разница по длине между полосами составляет не более 0,01 мм. Лист с такими параметрами оценивается как соответствующий техническим условиям, т. е. является «план-

шетным». С устройством измерения и регулирования планшетности получают полосы с  $\pm 1$  unit.

### Принцип измерения

Видимая при продольной резке ленты разница по длине между отдельными ее полосками обуславливает в продольно неразрезанной ленте поперечную волнистость, которую даже при самых больших натяжениях ленты можно безупречно замерить посредством точных индуктивных датчиков.

Максимальное расстояние между точками датчиков составляет 26 мм. Измерительные алмазы прижимаются к нижней стороне натянутой ленты посредством воздуха с предварительно установленным усилием (около 150 г). Точные датчики, расположенные вне ширины ленты, автоматически отключаются. Их измерительные алмазы находятся ниже защитной пластины. Измерительные алмазы с гарантией не оставляют следов на измерительном материале. Их износ и опасность разрушения еще меньше, чем у толщиномеров, в которых используются такие же алмазы. Установка нуля прибора измерения планшетности осуществляется посредством накладывания приложенной проверочной линейки. Коррекция осуществляется затем автоматически в течение, приблизительно, 20 секунд. Направляющие ролики полые, их поверхность азотирована. Они вращаются очень легко, так что несмотря на очень малый угол обхвата (менее 1 градуса), захватываются лентой без проскальзывания.

### 2.2. СИСТЕМА КОНТРОЛЯ И РЕГУЛИРОВАНИЯ ТОЛЩИНЫ

Автоматизированная система контроля и регулирования толщины проката предусматривает установку датчика толщины на выходной стороне стана. Результирующие запаздывания отчета, отклонения толщины, регистрируемые измерительным датчиком толщиномера, учитываются и корректируются компьютером, что обеспечивает повышение быстродействия системы. Время срабатывания системы контроля и регулирования толщины на современных станах составляет около 20 мс. При выдаче корректирующей команды каналом регулирования толщины при прокатке учитываются следующие исходные параметры:

- диаметр рабочих валков;
- диаметр опорных валков;
- ширина ленты;
- механические свойства материала на входе;
- толщина ленты на входе;

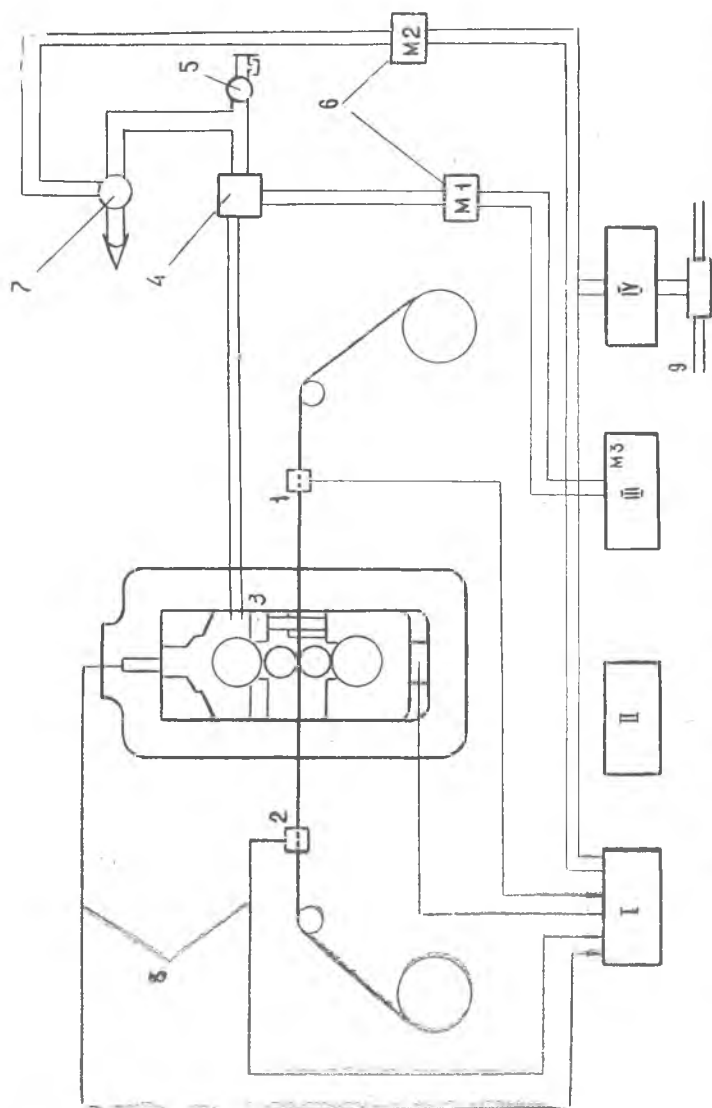


Рис. 5. Система контроля и регулирования толщины «Дзигсидж», устанавливаемая на станках фирмы «Клессам»: I — вводы: скорость, ручное управление, аналоговые и цифровые входные данные; II — исчисление различных функций; детекция дефектов; наблюдение, сбор данных; III — вводы: скорость, натяжение, печатающее устройство, аналоговые и цифровые входные данные; IV — связь с ЭВМ процесса; I — толщиномер на входе; 2 — толщиномер на выходе; 3 — цифровой датчик; 4 — сервоклапан; 5 — насос; 6 — датчики гидросистемы; 7 — переключательный клапан; 8 — сигналы; 9 — сеть связи

коэффициенты корректировки упругой отдачи клетн.

Все эти данные вводятся в систему контроля и регулирования толщины до прокатки рулона с тем, чтобы выбрать начальный режим процесса. В процессе прокатки они корректируются соответствующими исполнительными механизмами. Помимо указанных параметров компьютер учитывает при выдаче сигналов управления рабочую скорость прокатки, соотношение скоростей разматывателя и моталки.

Имеются системы (рис. 5), которые осуществляют регулирование толщины полосы методом обратной или прямой связи замкнутого цикла от датчиков рентгеновского излучения, установленных на входной и выходной сторонах стана. Основными каналами регулирования таких систем являются изменение скорости и величины натяжения полосы. Такие системы обеспечивают регулировку толщины полосы по длине рулона с отклонением от номинала менее 1%. Кроме того, система осуществляет контроль и регулировку температуры полосы, компенсацию эксцентриситета рабочего вала и смещение полосы во время прокатки.

Электрооборудование приводов стана обеспечивает максимальную величину отклонения скорости прокатки и величину натяжения менее 0,5% от номинала.

С целью обеспечения максимальной автоматизации станов и для получения высокого качества разрабатываются комплексные системы управления станом, обеспечивающие одновременное регулирование толщины и планшетности прокатываемого материала, выбор оптимальных режимов процесса прокатки, автоматическую начальную установку параметров процесса прокатки, регистрацию и диагностику неисправностей оборудования, управление вспомогательными операциями. Такие системы установлены на станах, например, фирмы «Ахенбах Бушхюттен» и фирмы «Шлеман-Зимаг».

Одним из блоков модульной системы оптимизации является система регулирования толщины прокатываемого материала. Указанная система включает в себя: контур регулирования; устройство измерения расстояния между подушками опорных валков; гидравлические нажимные цилиндры.

Блочная схема регулирования толщины прокатываемого материала представлена на рис. 6.

В процессе прокатки производится непрерывное измерение расстояния между подушками опорных валков, которое с помощью «подчиненного» регулировочного контура поддерживается постоянным. В случае отклонения расстояния между подушками опорных валков от заданного значения сигнал

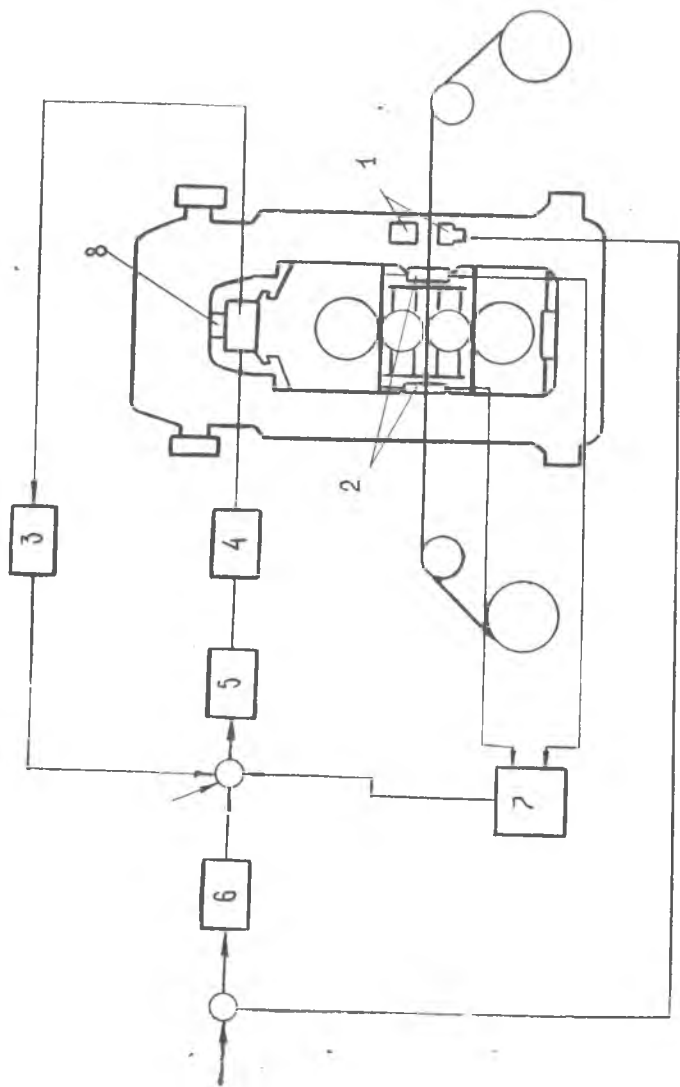


Рис. 6. Принципиальная блочная схема регулирования толщины: 1 — толщиномер; 2 — датчик расстояния между подушками опорных валков; 3 — датчик усилия прокатки; 4 — опорные валки; 5 — система регулирования расстояний между подушками опорных валков; 6 — регулятор натяжения; 7 — регулятор натяжения; 8 — цилиндр с датчиком усилия прокатки



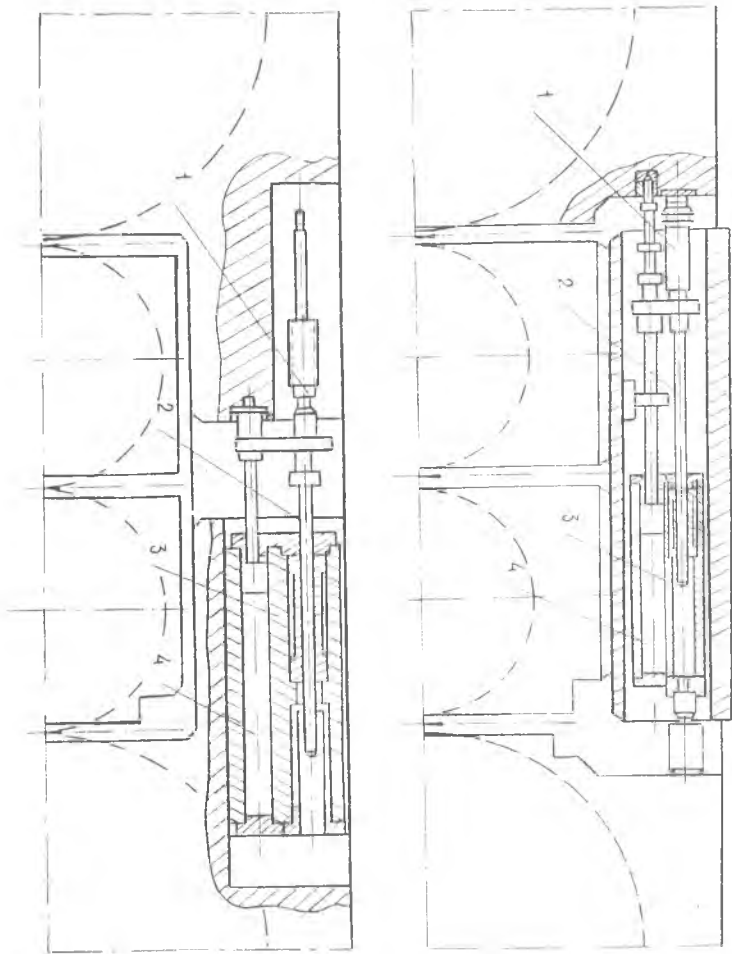


Рис. 7. Варианты устройства измерения расстояния между подушками опорных валков: 1 — шуп расстояния; 2 — измерительная оправка; 3 — гидрозажимное устройство; 4 — гидроцилиндр

через контур регулирования подается на гидравлические нажимные цилиндры.

С помощью контура регулирования расстояния между подушками опорных валков компенсируются изменениям упругой деформации элементов прокатного стана (клеть, прокатные валки и др.), вызванные изменением усилия прокатки. Действительная толщина прокатываемого материала непрерывно измеряется толщиномером, сравнивается с заданным значением и как отклонение регулируемой величины подается регулятору толщины. Регулятор толщины полосы через замкнутый контур регулирования связан с устройством измерения расстояния между подушками опорных валков и гидравлическими нажимными механизмами.

Специальные устройства измерения расстояния между подушками опорных валков основаны на использовании позиционированных щупов расстояния, работающих по принципу дифференциального дросселя. Расстояние между подушками опорных валков измеряется в четырех точках контактными зондами щупового исполнения. Варианты устройства измерения расстояния представлены на рис. 7.

При использовании специальных усилителей несущей частоты система обеспечивает разрешающую точность  $\pm 1$  мкм цифровой установки заданного значения и дальнейшую аналоговую обработку сигналов в системе регулирования.

Заданное значение толщины прокатываемого материала предварительно устанавливается декадным выключателем толщиномера, согласованным с числом проходов рядом декадных выключателей. Фиксируемая толщиномером величина отклонения толщины прокатываемого материала с учетом транспортного запаздывания, зависящего от скорости прокатки, оценивается функцией скорости движения прокатываемого материала и через контур регулирования подается на гидравлические нажимные цилиндры.

### *3. СОВРЕМЕННЫЕ СИСТЕМЫ ПОДАЧИ СОЖ*

#### *3.1. ТРЕБОВАНИЯ К СОЖ*

Система подачи технологической смазки является важным механизмом управления процессом прокатки. Поэтому большое внимание уделяется разработке этой системы для оснащения ею изготавливаемых станов.

В качестве технологической смазки при холодной прокат-

ке алюминия и его сплавов применяют смазку на основе минерального масла или водную масляную эмульсию. Использование водно-масляной эмульсии позволяет увеличить обжатия за проход, снизить пожароопасность и улучшить санитарно-технические условия труда операторов. При использовании водно-масляной эмульсии стан оснащен устройством сушки тоннельного типа, оборудованного приспособлением, обеспечивающим полное удаление следов технологической смазки с поверхности полосы в каждом проходе за счет пульсирующей обдувки воздухом.

Смазки на основе минерального масла состоят из смеси углеводов, являющихся химическими соединениями, молекулы которых состоят из атомов углерода и водорода. Их связи представляют собой длинные и короткие цепочки, циклические и разветвляющиеся. Связи «углерод — углерод» могут быть ненасыщенными, образуя олефины или ароматические структуры.

Степень очистки и точка кипения основного масла определяется присутствием несвязанных углеводов. Присутствие в основном масле непредельных олефиновых или ароматических углеводов повышает склонность масла к образованию коричневых пятен.

Полимеризация усиливается в присутствии серы. Точка кипения  $< 60^{\circ}\text{C}$ . Степень возгонки 98%. Бромовое число (количество олефиновых углеводов)  $\leq 0,4\%$ . Парафиновые углеводороды 67%. Ароматические углеводороды  $\leq 5\%$ . Нафтеновые углеводороды — остальное. Содержание серы  $\leq 0,06\%$ . Температура воспламенения  $80^{\circ}\text{C}$ . Кислотность 0,02 мг КОН/г.

Добавки, повышающие смазочные свойства, — органические соединения, молекулы которых имеют большой постоянный дипольный момент. Дипольный момент определяет притяжение и прочность сцепления смазки с металлом. Количество этих добавок составляет 1—7%. Срок службы смазки 6—12 месяцев. Температура смазки  $40^{\circ}\text{C}$ .

Смазка подвергается ежедневному контролю по следующим параметрам:

1. Вязкость — 2,5, сS при  $20^{\circ}\text{C}$ .
2. Содержание смазочных добавок — 5% по весу для лаурилового спирта.
3. Кислотность должна нейтрализоваться не более 0,05 мг КОН/г.
4. Содержание золы  $\leq 0,03\%$ .
5. Содержание воды  $\leq 0,02\%$ .

6. Склонность к образованию пятен не выше «легкой».

Образованию белых пятен способствуют:

увеличение кислотного числа  $> 0,03$  мг КОН/г (в качестве антиокислителя добавляют 0,1—0,2% бутилат гидроокиси толлуора + 2—3 замещенных группы третичного бутила);

превышение содержания воды  $> 0,02\%$ .

Образованию коричневых пятен способствует загрязнение прокатного масла свыше 1—2% парафиновыми маслами, содержащими Pb, Zn, S, P, Cr.

### *3.2. СИСТЕМА ФИЛЬТРАЦИИ СОЖ*

При проектировании и изготовлении фольгопрокатных станов особое внимание уделяется системе фильтрации технологической смазки. При этом система фильтрации должна обеспечить постоянство химического состава охлаждающей жидкости. Тонкая фильтрация технологической смазки станов обеспечивает полное удаление загрязняющих частиц размером от 0,5 мкм и выше. При этом одновременно происходит химическое осветление технологической смазки без удаления специальных присадок.

Примером современной системы фильтрации может служить пластинчатый фильтр модели «Ахенбах Бушхюттен» (рис. 8).

В настоящем горизонтальном пластинчатом фильтре объединяются несколько различных принципов. Для фильтрации и осветления охлаждающей жидкости употребляется инфузорная земля с присадками отбеливающей глины. Отбеливающая глина присаживается в небольших порциях во время фильтрации и обеспечивает высокую степень использования фильтрующей среды при сохранении небольшого сопротивления фильтра.

В качестве несущего материала для вспомогательных фильтрующих средств применяются специальные виды высокопрочной бумаги или нетканый текстильный пластмассовый материал. Отдельные полосы фильтрующего материала закрепляются горизонтально между пластинами фильтра, расположенными друг над другом. Все твердые частицы, содержащиеся в охлаждающей жидкости, осаждаются сверху на этом фильтровальном материале. Уплотнение фильтра достигается высоким замыкающим давлением пластин, причем не требуются дополнительные уплотнения.

Особенности фильтра:

горизонтальное размещение чека в фильтре исключает возможность его разрушения при перерыве рабочего режима;

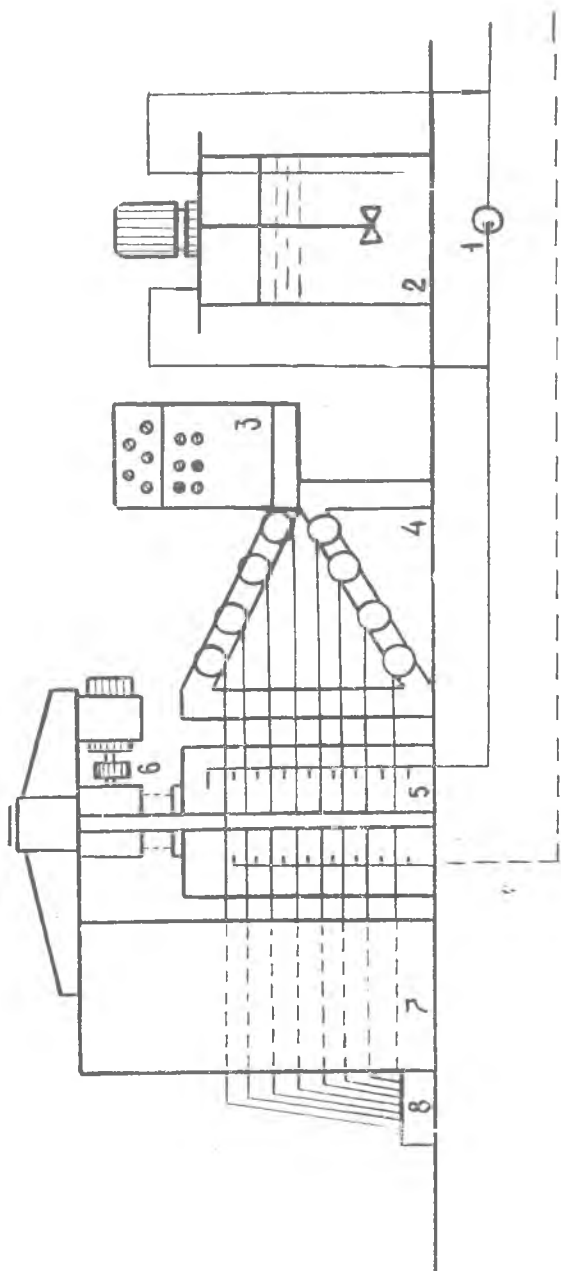


Рис. 8. Схема горизонтального пластинчатого фильтра фирмы «Ахенбах Бушхюттен» (ФРГ): 1—насос фильтра; 2—шпиндель; 3—распределительный шкаф; 4—разматывание бумаги; 5—штабель пластин фильтра; 6—натяжное устройство; 7—ящик для отходов; 8—ящик для бумаги.

для каждого нового цикла фильтрации используется новый фильтровальный материал;  
низкий расход вспомогательных фильтрующих материалов;  
простое и чистое техническое обслуживание.

Подобные конструкции фильтров позволяют получать масло с остаточным золосодержанием 0,005% (0,005 г на 100 г масла) и чистотой фильтрации 0,5 мкм.

### *3.3. СИСТЕМА РАЗДАЧИ И РЕГУЛИРОВАНИЯ СОЖ*

Система подачи технологической смазки является важным механизмом управления процессом прокатки. Как правило, принцип работы этих систем — электропневматический. В каждой форсунке разбрызгивание технологической смазки регулируется двумя ступенями «открыто — закрыто» посредством пневмоклапана. Форсунки установлены на штангах вдоль бочки рабочих и опорных валков. На рабочих валках форсунки расположены в два ряда, один над другим, и каждая пара форсунок обслуживает зону шириной 50 мм. В каждой зоне форсунки имеют различный расход технологической смазки, что позволяет выбрать для каждой зоны четыре различных варианта расхода:

- нулевой (обе форсунки закрыты);
- низкий (открыта форсунка с меньшим расходом);
- средний (открыта форсунка с большим расходом);
- высший (открыты обе форсунки).

На опорных валках форсунки расположены в один ряд, обслуживая зону шириной 100 мм.

Тепловой профиль рабочих валков помимо изменения режима работы установленных форсунок (включение и выключение их) можно регулировать расходом подаваемой технологической смазки, уменьшая или увеличивая давление в системе смазки. Скорость срабатывания такой системы составляет несколько десятых долей секунды.

Крепление форсунок с помощью байкетных соединений позволяет легко демонтировать каждую в отдельности при очистке или замене, при этом нет необходимости демонтировать весь блок в целом.

Регулирование количества подаваемой СОЖ часто осуществляют путем быстрого изменения числа оборотов насосов, подающих охлаждающую среду с требуемым давлением.

Одна из задач СОЖ заключается в обеспечении быстрого отвода тепла, выделенного при деформации. Режим охлаждения валков регулируется в зависимости от прокатываемого

сплава, геометрии полосы, обжатий, сопротивления деформации металла и т. д.

Современные станы предусматривают регулирование количества подаваемой СОЖ в зависимости от суммарной мощности приводов валов и моталки. На рис. 9 представлена

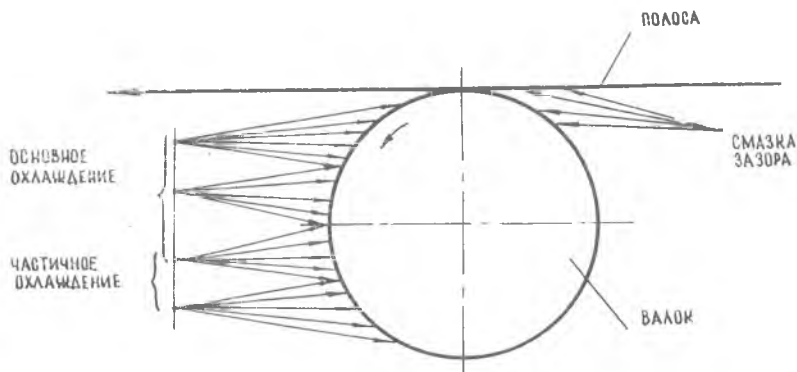


Рис. 9. Принципиальная схема раздачи СОЖ

принципиальная схема раздачи СОЖ, где предусмотрено частичное и основное охлаждение рабочих валков и смазка зазора между металлом и валками.

#### 4. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА ПРОКАТКИ

##### 4.1. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ. ОЧАГ ДЕФОРМАЦИИ

Рассмотрим геометрические параметры очага деформации в клетке  $i$  при непрерывной прокатке (рис. 10);

$h_i$  — толщина полосы на входе в клетку  $i$ ;

$h_{i+1}$  — толщина полосы на выходе из клетки  $i$  или на входе в клетку  $(i + 1)$ ;

$h_i - h_{i+1} = \Delta h_i$  — абсолютное обжатие;

$\varepsilon_i = \Delta h_i / h_i = (h_i - h_{i+1}) / h_i$  — относительное обжатие или степень деформации в клетке  $i$ ;

$\lambda_i = h_i / (h_i - \Delta h_i)$  — удлинение в клетке  $i$  или вытяжка;

$\lambda_i = h_i / h_{i+1}$ ;  $\lambda_i = 1 / (1 - \Delta h_i / h_i) = 1 / (1 - \varepsilon_i)$ ;

$\lambda = H_0 / h_k$  — общая вытяжка на стане при прокатке на  $n$  клетках.

$v_i, v_{i+1}$  — скорость вращения валков в клетках  $i, i + 1$ .

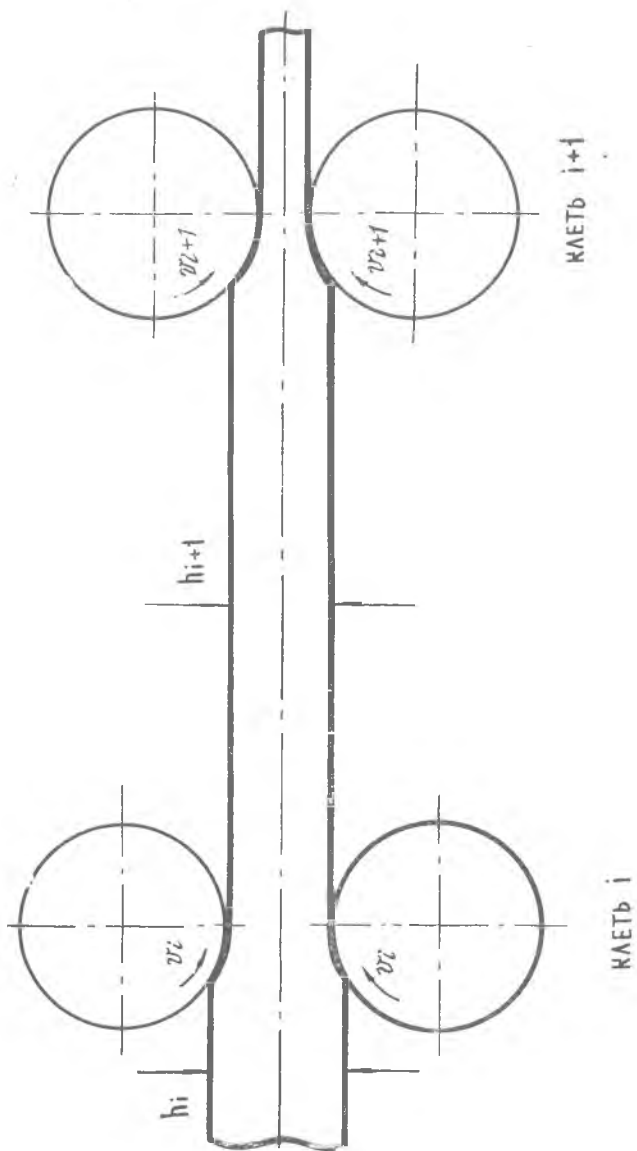


Рис. 10. Схема движения полосы при непрерывной прокатке



## Сопротивление деформации

При холодной прокатке сопротивление деформации рассчитывают по формуле

$$\sigma_i = 1,15 [\sigma_{0,2} + \Delta \sigma (1 - C (h_i - \Delta h_i) / H_0)],$$

где  $\sigma_i$  — сопротивление деформации в клетке  $i$ ;

$\sigma_{0,2}$  — нулевая точка сопротивления деформации (сопротивление деформации в исходном состоянии);

$\Delta \sigma$  — величина прироста сопротивления деформации при прокатке от  $H_0$  до  $h_k$ ;

$$C = \sqrt[n]{\frac{H_0}{h_k} - 1} / \left[ \frac{\ln(H_0/h_k)}{n} \right] = \frac{(\sqrt[n]{\lambda} - 1)}{(\ln \lambda)/n} \text{ — коэффициент, учиты-}$$

тывающий распределение обжатий по клетям;

$n$  — число клеток, участвующих при прокатке.

### 4.2. УДЕЛЬНОЕ ДАВЛЕНИЕ МЕТАЛЛА НА ВАЛКИ

При расчете удельного давления металла на валки  $P_i$  учитывают обжатие, переднее и заднее натяжения, весовые характеристики полосы и коррекцию модели моментов:

$$P_i = (\Delta h_i / h_i) [T_3 + (\sigma_i / C - m_1 T_3 - m_2 T_n) K_i]$$

или

$$P_i = M_{пр} / (BRh_{i+1}) - T_3 - T_n,$$

где  $T_3$  — заднее удельное натяжение, МПа;

$T_n$  — переднее удельное натяжение, МПа;

$K_i$  — фактор коррекции модели моментов;

$B$  — ширина полосы, мм;

$R$  — радиус валков, мм;

$M_{пр}$  — момент прокатки, кНм;

$m_1$  и  $m_2$  — весовые факторы для натяжения.

### 4.3. УСТАНОВКА ЗАЗОРА МЕЖДУ РАБОЧИМИ ВАЛКАМИ

При установке зазора между рабочими валками учитываются:

пружинение станины при фактическом усилии;

деформация рабочих и опорных валков;

всплывание подшипников.

Величина зазора между валками определяется по формуле

$$S_i = h_{i+1} - (S_{1i} + S_{3i} - S_{ки}) + (S_{2i} - S_{2E}),$$

где  $h_{i+1}$  — толщина полосы на выходе ее из клетки;

$S_{1i}$  — пружинение станины при фактическом усилии;

- $S_{3i}$  — деформация опорных и рабочих валков;  
 $S_{ki}$  — величина коррекции для уравнения установки валков;  
 $S_{2i}$  — величина всплывания подшипников;  
 $S_{2E}$  — постоянная, определяемая при юстировке после установки валков.

Ниже приводятся математические выражения для определения величины пружинения станины, деформации опорных и рабочих валков с учетом их сплющивания.

#### Пружинение станины

Пружинение станины учитывает упругую деформацию станины и определяется как произведение усилия прокатки при заправке на модуль станины

$$S_{1i} = PG_i,$$

где

$$P — \text{усилие прокатки при заправке, кг;} \\ G_i = (S_{1i} + S_{3i})/P — \text{модуль станины, мм/кг.}$$

#### Деформация валков

Изгиб и сплющивание валков определяются по формуле

$$S_{3i} = P [S'_2/B + S'_1/B \ln 1/h_i - h_{i+1} + S'_3] + 2 S'_3 P_{из};$$

где

$$S'_1 = 2 [2 (1 - \nu)^2] / (\pi E) = 0,0552;$$

$$S'_2 = S'_1 [K + 0,5 \ln (2D_0)] = 0,2315, \text{ где } K = 0,6931;$$

$$\nu = 0,3 — \text{модуль сдвига;}$$

$$P_{из} — \text{усилие противоиогнба;}$$

$$D_p = 550 \text{ мм} — \text{диаметр рабочих валков;}$$

$$D_0 = 1520 \text{ мм} — \text{диаметр опорных валков;}$$

$$S'_3 = S'_1 [\lambda' / (B \ln (D_p/D_0))] = 4,1 \cdot 10^{-5}, \text{ где } \lambda' = 1,5; B = 2032 \text{ мм.}$$

Конкретные расчеты значений  $S'_1$ ,  $S'_2$ ,  $S'_3$  приведены для непрерывного пятиклетевого стана «Simag». Окончательно формула для деформации валков указанного стана с учетом изгиба и их сплющивания примет следующий вид:

$$S_{3i} = P 0,2315/B + 0,0552/B \ln 1/\Delta h + 4,1 \cdot 10^{-5} + 2 \cdot 4,1 \cdot 10^{-5} P_{из}.$$

#### 4.4. ФОРМА ПОПЕРЕЧНОГО СЕЧЕНИЯ ПОЛОСЫ

Ровная полоса получается, если все точки ее поперечного сечения имеют исключительно одинаковую толщину. Попе-

речное сечение (рис. 11) на основе приближенных математических способов можно описать с помощью клина, параболы и других более сложных зависимостей:

$$h_{(B)} = h_0 + Ax + Bx^2 + Cx^4 + Dx^{16}.$$

Здесь член зависимости  $Ax$  отражает настройку валков на параллельность и описывает зазор между валками в виде клина. Второй член  $Bx^2$  отражает воздействие металла на валки, в результате которого валки испытывают параболический изгиб, симметричный относительно центральной оси полосы. Аналогичным образом по параболическому закону изменится форма зазора между валками при действии поло-

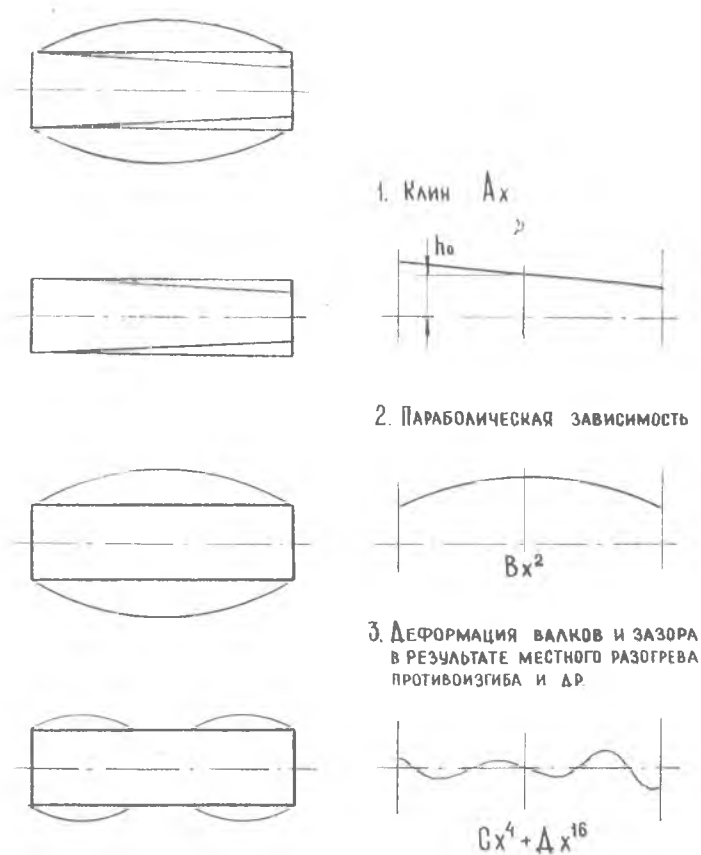


Рис. 11. Форма поперечного сечения полосы

жительного противоизгиба (см. рис. 3 и 4).

Последующие члены выражения отражают изменения формы зазора между валками в результате воздействия отрицательного противоизгиба  $Cx^4$  или местного разогрева валков на небольшом участке  $Dx^{16}$ .

#### 4.5. СВОЙСТВА МАТЕРИАЛА

Давление металла на валки определяется по известной [2] из теории прокатки формуле:

$$P = P_i B_i \sqrt{R \Delta h_i},$$

где

$P_i$  — удельное давление металла на валки;

$B_i$  — ширина полосы;

$\sqrt{R \Delta h_i}$  — длина дуги захвата.

Продифференцируем приведенное выше уравнение по  $h$ :

$dP/dh = 1/2 P_i B_i \sqrt{R} / \sqrt{\Delta h_i}$  или, умножив числитель и знаменатель на  $\sqrt{\Delta h_i}$ , получим

$$dP/dh = 1/2 P_i B_i \sqrt{R \Delta h_i} / \Delta h_i \text{ или } dP/dh = 1/2 P / (h_i - h_{i+1}).$$

Полученное выражение используется в расчете как постоянная материала, характеризующая его свойства в данных конкретных условиях прокатки. Используя последнее выражение и определяя два параметра  $P$  и  $\Delta h_i$ , автоматически испытываются в процессе прокатки свойства материала.

Использование вышеприведенного уравнения фактически позволяет вести испытание и оценку свойств каждой заданной полосы, сравнивать эти свойства с предыдущими прокатанными полосами этого сплава и размера и учитывать допустимые отклонения свойств в программе прокатки.

#### 4.6. УСЛОВИЯ, ОГРАНИЧИВАЮЩИЕ ПРОЦЕСС ПРОКАТКИ

При расчете схем и выбора стратегии прокатки вводят ряд ограничений, обеспечивающих исключение перегрузки любой клетки и учитывающих максимально допустимые обжатия для прокатываемого металла с учетом их распределения по клетям.

Ограничения по перегрузке любой клетки обеспечиваются выполнением следующего требования:

$$N_i \leq \eta_i \eta_{\text{общ}} N_{\text{ном}},$$

где  $N_i$  — расчетная мощность;  $\eta_i$  — коэффициент мощности для заданной  $i$ -й клетки стана;  $\eta_{\text{общ}}$  — коэффициент мощности,

учитывающий суммарную работу двигателей всех клеток;  $N_{\text{ном}}$  — номинальная мощность двигателя.

Кроме того, должно выполняться условие:  $\frac{\sum Ni}{\sum \bar{N}i_{\text{ном}}} \leq \eta_{\text{общ}}$ .

Суммарная расчетная мощность привода всех клеток не должна превышать суммарной номинальной мощности этих клеток.

Распределение обжатий по клетям производят следующим образом:  $\varepsilon_i : \varepsilon_j : \varepsilon_k = \kappa_i : \kappa_j : \kappa_k$ , где  $\kappa_i, \kappa_j, \kappa_k$  — факторы относительного обжатия, устанавливаемые для каждой клетки и учитывающие свойства прокатываемого металла.

Кроме того, стратегия прокатки должна учитывать тип используемой смазки. При использовании СОЖ типа минерального масла степень деформации металла выбирается таким образом, чтобы не произошло обрыва в результате потери запаса пластичности из-за превышения допустимой степени деформации. Например, труднодеформируемые сплавы, такие как АМгб, нельзя прокатывать с суммарной степенью деформации более 45—50%, так как при превышении указанной степени деформации образуются трещины по кромке, что приводит к обрыву полосы. Это в свою очередь приводит к забуре на стане, резкому локальному повышению температуры. СОЖ на основе минерального масла, имея низкую температуру возгорания, воспламеняется и возникает пожар.

Для ликвидации пожара на стане предусмотрены автоматические системы пожаротушения:

с помощью углекислоты;

спреерные водяные системы общего и местного типа.

Системы пожаротушения имеют датчики температуры, от которых система срабатывает автоматически.

#### 4.7. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ТОЛЩИНЫ ПОЛОСЫ ПРИ ГОРЯЧЕЙ ПРОКАТКЕ

Толщина полосы при горячей прокатке может быть определена по следующему выражению:

$$\left. \begin{aligned} h &= -0,64 + 0,850 h_0 + 0,0026 P \pm 0,1 \text{ при } \eta = 0,95; \\ 5,6 \text{ мм} &\leq h \leq 10,7 \text{ мм}, \\ 150 \text{ т} &\leq P \leq 500 \text{ т на одну мездозу}, \end{aligned} \right\}$$

где  $h$  — расчетная толщина полосы, мм;

$h_0$  — установка раствора валков, мм;

$P$  — давление металла на валки, т;

$\eta = 0,95$  — вероятность получаемого значения.

Формула обоснована путем обработки многочисленных экспериментальных данных, полученных при прокатке алюминия и его сплавов для седьмой клетки непрерывной группы стана горячей прокатки «2800», а также, используя работу [3].

Обратный расчет установки раствора валков в зависимости от давления и требуемой толщины на входе дает следующее выражение:

$$h_0 = 0,75 + 1,176 - 0,0031 P.$$

Пределы  $h$  и  $P$  те же, что и в вышеприведенном соотношении.

Формула обеспечивает получение надежных результатов с вероятностью  $P = 95\%$ .

#### 4.8. МЕЖКЛЕТЕВОЕ НАТЯЖЕНИЕ ПРИ НЕПРЕРЫВНОЙ ГОРЯЧЕЙ ПРОКАТКЕ

Величину межклетевого натяжения при непрерывной горячей прокатке определяют по моменту на валу двигателя петледержателя по формуле

$$T = \frac{1,67 M \cos \alpha}{\sin \arctg \frac{\sin \alpha}{5 - \cos \alpha} + \sin \arctg \frac{\sin \alpha}{5 + \cos \alpha}}$$

где  $T$ —натяжение, т;  $M$ —момент на валу двигателя;  $\alpha$ —угол поворота рамы петледержателя.

Расчитанные значения величины натяжения в зависимости от угла поворота рамы петледержателя представлены в таблице.

Таблица

Ток якоря, А	Натяжение полосы (т) при угле поворота			
	15	20	30	45
180	16,7	12,5	7,8	4,9
200	18,6	13,9	8,7	5,45

Принцип работы петледержателя виден из рис. 12. При равенстве секущего объема металла в предыдущей ( $i-1$ ) и последующей  $i$ -й клетях натяжение в межклетевом промежутке отсутствует. Натяжение отсутствует и в том случае, когда секущий объем металла в клетях ( $i-1$ ) больше секущего объема металла в последующей клетях, т. е.  $T = 0$  при  $V_{i-1} h_{i-1} \geq V_i h_i$ .

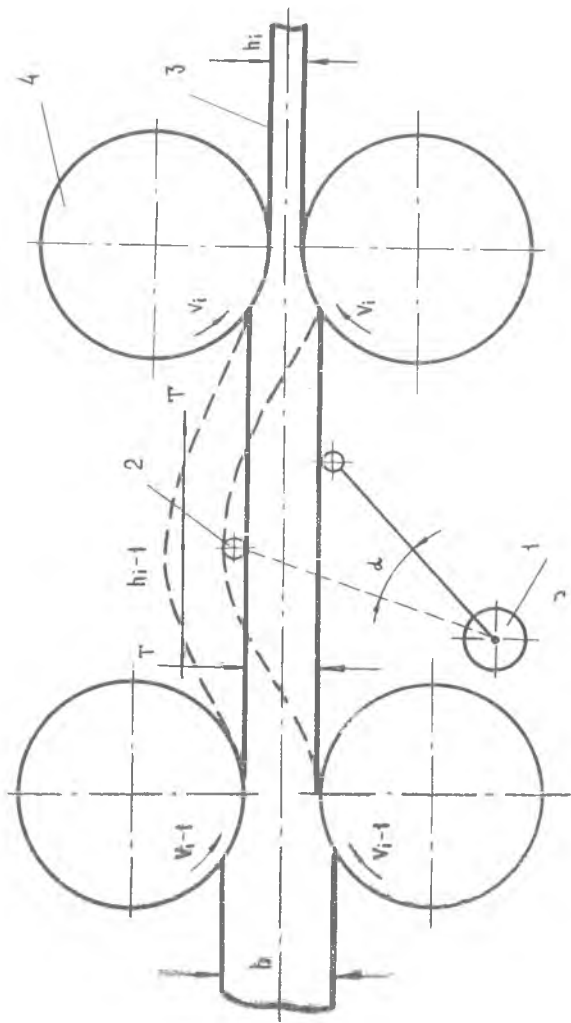


Рис. 12. Схема работы петледержателя: 1 — двигатель петледержателя; 2 — ролик петледержателя; 3 — прокатываемая полоса; 4 — рабочие вальки

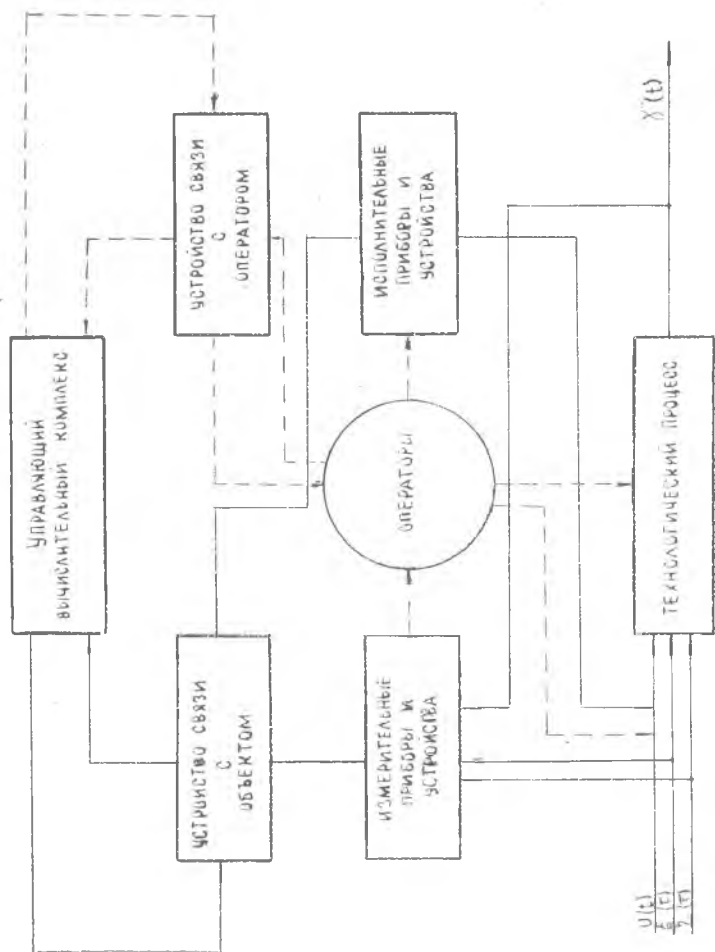


Рис. 13. Обобщенная блок-схема функционирования АСУТП.  $U(t)$  — входные управляющие воздействия;  $\xi(t)$  — входные контролируемые, но не управляемые воздействия;  $\eta(t)$  — входные неконтролируемые воздействия;  $\gamma(t)$  — выходные переменные технологического процесса



В этом случае ролик петледержателя 2 поднимается двигателем петледержателя, не испытывая сопротивления полосы.

Как только секущий объем в  $i$ -й клетке будет больше секущего объема в  $(i-1)$  клетки, сразу появляется сопротивление перемещению ролика петледержателя. Полоса стремится переместить ролик в первоначальное положение. Таким образом, при увеличении натяжения в полосе уменьшается угол петледержателя.

## 5. АСУПП

АСУПП — это система, которая реализуется на базе высокоэффективной вычислительной и управляющей техники и обеспечивает управление технологическим процессом прокатки на основе централизованно обработанной информации по заданным технологическим и технико-экономическим критериям, определяющим количественные и качественные результаты выработки продукции [4].

Обобщенная блок-схема функционирования АСУПП представлена на рис. 13. С измерительных приборов и устройств информация о входных и выходных переменных технологического процесса и о режимах функционирования технологического оборудования посредством операторов через устройство связи поступает в управляющий вычислительный комплекс (УВК) и обрабатывается в определенной последовательности по заранее заданным алгоритмам. Через устройство связи УВК выдает управляющие команды операторам, исполнительным устройствам и приборам, которые реализуют управление технологическим процессом и изменяют режимы планирования технологического оборудования.

Для комплексного управления процессом прокатки используются ЭВМ, в программах которых заложен весь технологический цикл прокатки с оценкой параметров и контролем всех систем управления, имеющихся на стане. Структура управления и регулирования процесса прокатки на пятиклетевом стане холодной прокатки фирмы «Шлеман-Зимаг» с помощью ЭВМ «305» представлена на рис. 14.

Ввод данных предусматривает прокатываемый сплав, толщину горячекатаной полосы на входе, толщину холоднокатаной полосы на выходе, ширину полосы, предельные отклонения по толщине. При прохождении полосы через толщиномер на входе стана измеренное значение сравнивается с заданным и в случае отклонения от заданной толщины сверх

допустимой высвечивается информация о несоответствии толщины. При соответствии толщины ведется расчет процесса с учетом фактического размера данной полосы. При прохождении полосы через первую клеть измеряемые значения уси-

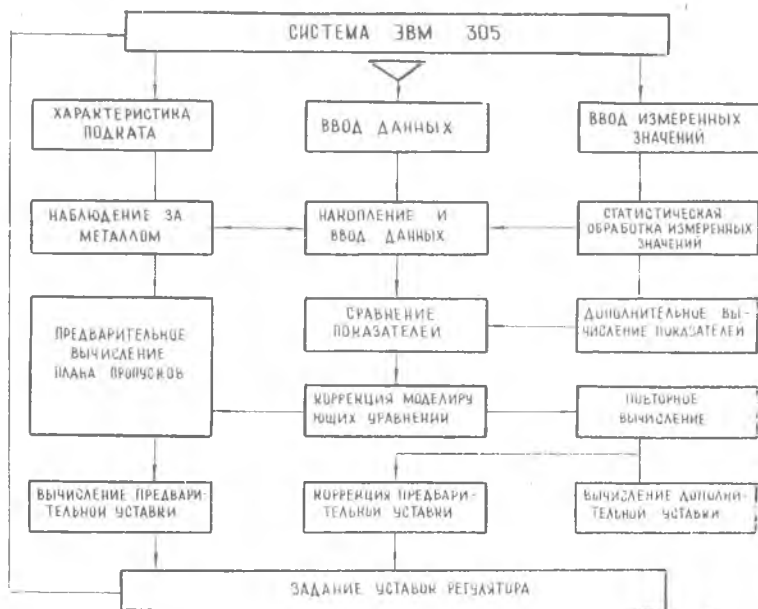


Рис. 14. Структура управления и регулирования процессом прокатки

лия прокатки  $P$  и фактических толщин на входе и на выходе из клетки передаются в систему ЭВМ, которая по формуле

$$\frac{dP}{dh} = \frac{P}{2(h_i - h_{i+1})}$$

оценивает свойства металла, сравнивает с характеристиками данного сплава и ведет дальнейший расчет процесса с учетом фактически полученных свойств, постоянно вычисляя установку заданий исполнительным механизмам. Такая оценка и расчет данных ведется на протяжении всего времени прокатки данной полосы, т. е. ведется наблюдение за металлом, накопление данных и их статистическая обработка по измеренным величинам. После ввода исходных данных ЭВМ ве-

дет предварительное вычисление плана пропусков, сравнение вычисленных показателей со среднестатистическими, после чего производит коррекцию моделирующих уравнений, дополнительное и повторное вычисление показателей, коррекцию и вычисление заданий исполнительным механизмам. Затем идет отработка заданий регуляторов. Система контролирует описанным образом ход прокатки по всем пяти клетям, обеспечивая требуемые параметры полосы на выходе стана. В общем виде управление прокаткой с помощью ЭВМ происходит в три этапа:

- предварительное вычисление плана прокатки с вычислением конкретных значений установок регуляторам;

- коррекция предварительно вычисленной модели после ввода конкретных данных по свойствам материала и полученной информации от регуляторов;

- вычисление дополнительных установок по результатам измеренных значений датчиков, их статистическая обработка и повторное вычисление.

С помощью ЭВМ последний этап происходит непрерывно во время всего цикла прокатки.

На рис. 15 представлена основная структура регулирования процесса.

В основу выбора стратегии прокатки положены ограничивающие условия (по усилию прокатки, величине абсолютных или относительных обжатий, максимально допустимой скорости для каждого сплава). Эта структура управления распространена на каждую из пяти участвующих в работе клеток.

Надежный контроль входных параметров геометрии и свойств полосы, оценка их в процессе прокатки в каждой клетке и на выходе, статистическая обработка измеренных значений, адаптация и самообученные системы с помощью моделирующих уравнений позволяют вести надежный высокопроизводительный процесс прокатки.

На пятиклетевом стане холодной прокатки фирмы «Шлеман-Зимаг» задействованы следующие системы управления и регулирования:

- контроль силовых параметров стана для каждой клетки (давление металла на валки, момент прокатки);

- контроль скоростных параметров стана (скорость вращения валков, барабана разматывателя, барабана намотки полосы);

- контроль и регулирование толщины полосы на входе и выходе;

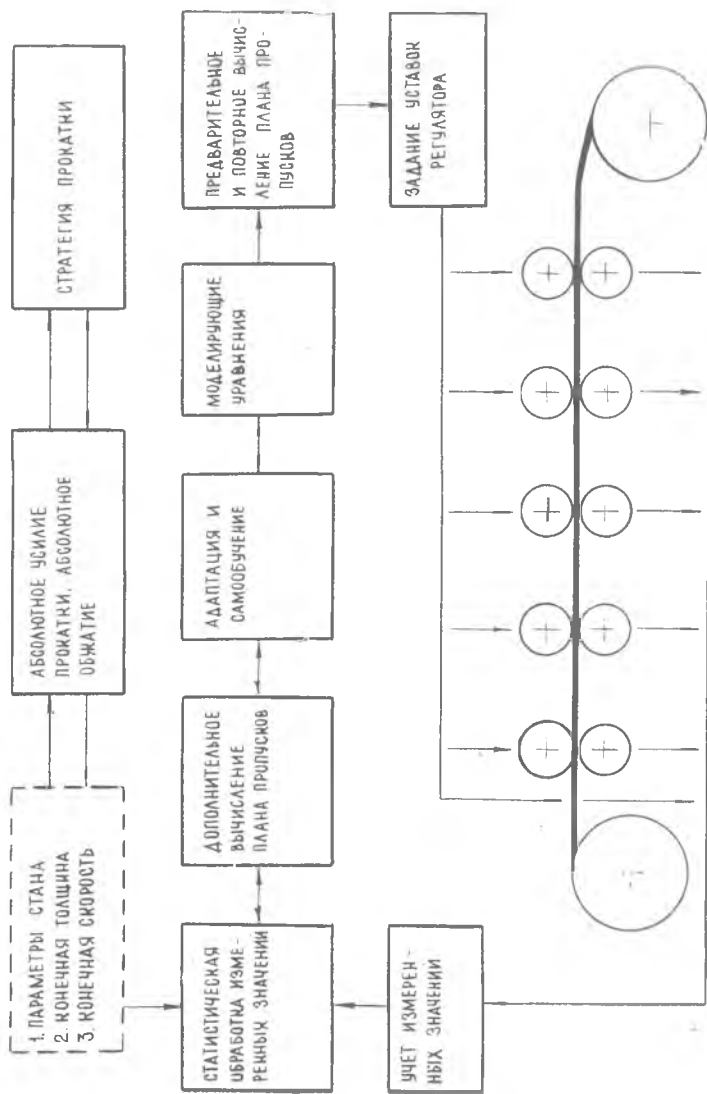


Рис. 15. Основная структура регулирования процессом

контроль и регулирование зазора между подушками опорных валков для каждой клетки;

контроль и регулирование планшетности за пятой клетью с помощью специального высокочувствительного стрессометрического ролика;

СОЖ;

регистрация и диагностика неисправностей оборудования; управление вспомогательными операциями.

На рис. 16 представлено схематически комплексное взаимодействие всех систем и параметров, обеспечивающих процесс прокатки с заданными свойствами холоднокатаной полосы.

Прежде всего работа всех систем направлена на обеспечение свойств холоднокатаной полосы, таких как: толщина, планшетность, качество поверхности, температура полосы, а также термический режим валков. Эти свойства обеспечиваются техническими возможностями стана, в состав которого входит комплекс систем:

регулирование зазора (гидравлическое позиционирование и клиновой прецизионный регулятор);

профилирование зазора (горизонтальное позиционирование, смещение и изгиб валков, балансирование, частичное охлаждение);

смазка и охлаждение валков (распыляющие форсунки, электрогидроклапаны, фильтрация и охлаждение эмульсии);

главный привод, обеспечивающий круговое вращение валков с заданной регулируемой скоростью;

привод моталок, обеспечивающий их круговое вращение с заданным регулируемым натяжением.

Указанные системы обеспечивают технологию прокатки в каждой клетке, учитывая свойства и геометрию полосы как на входе стана, так и в каждой клетке. Так, система регулирования зазора воздействует на первую, вторую и пятую клетки; система профилирования зазора действует на все клетки стана.

Несмотря на высокую степень автоматизации стана, рабочий процесс прокатки контролирует человек путем наблюдения за выходными параметрами прокатки.

В более общем виде схема взаимодействия систем представлена на рис. 17.

При входе горячекатаной полосы в клетку устанавливается величина натяжения полосы, а системы профилирования зазора, его регулирования и СОЖ обрабатывают с учетом технологических свойств полосы и параметров прокатки (усилия и скорости прокатки и свойств готового продукта) на входе стана.

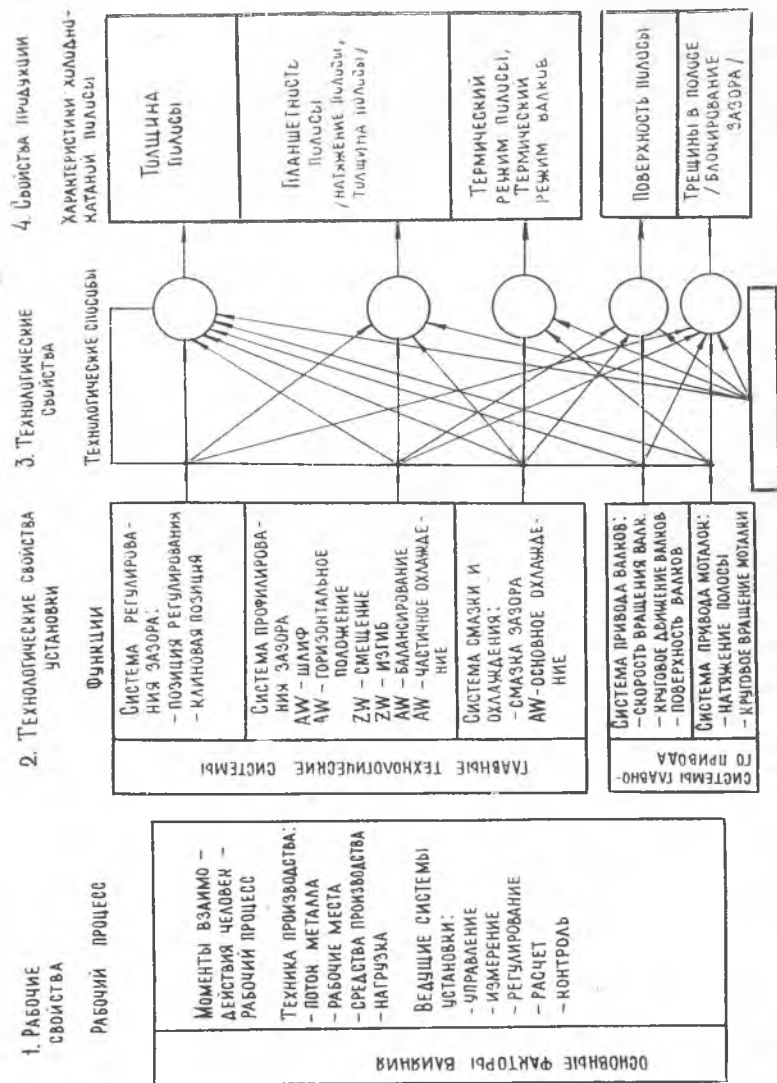


Рис. 16. Комплексное взаимодействие систем и параметров, обеспечивающих процесс прокатки с заданными свойствами холоднокатаной полосы

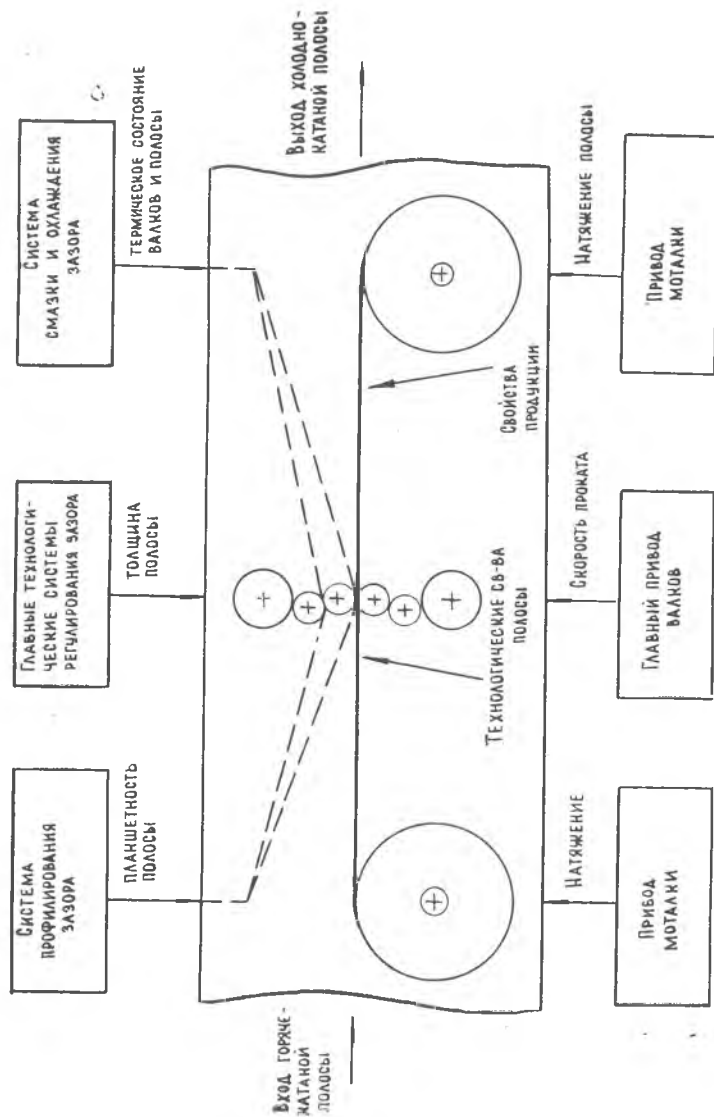


Рис. 17. Общий вид схемы взаимодействия систем

## 6. НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ

В производстве холоднокатаных лент и полос из алюминия и его сплавов дальнейшее совершенствование техники и технологии развивается в следующих направлениях:

увеличение размеров и массы прокатываемых рулонов до 20 т;

повышение скорости прокатки до 1800—2500 м/мин и быстродействия систем станков за счет использования гидравлических управляющих механизмов;

практически полная компьютеризация процесса прокатки, обеспечивающая выбор режимов деформирования заготовки с учетом ее предшествующей обработки, заложенной в памяти управляющей ЭВМ;

создание новых типов валков, систем контроля и управления планшетностью прокатываемой полосы;

использование новых технологических смазок.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Злотин, Л. Б., Зенцов А. И., Головчанов Е. Г. Современные станы для холодной прокатки лент и фольги из алюминия и его сплавов М.: ЦНИИцветмет экономики и информации, 1988, 36 с.

2. Целиков А. И. Основы теории прокатки. М.: Металлургия, 1965, 247 с.

3. Коновалов Ю. В., Остапенко А. Л., Пономарев В. И. Расчет параметров листовой прокатки. М.: Металлургия, 1986, 428 с.

4. Леонович А. Е. Автоматические системы управления технологическим процессом и установками прокатных цехов. М.: Металлургия, 1979, 367 с.



## ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	3
1. Основные устройства и системы станов, обеспечивающие функционирование АСУПП	4
1.1. Общие положения	4
1.2. Гидравлическое нажимное устройство	6
1.3. Перевалка рабочих и опорных валков	7
1.4. Опорные узлы валков (подшипники)	8
2. Системы управления, контроля и регулирования качеством проката	8
2.1. Система управления планшетностью	8
2.2. Система контроля и регулирования толщины	13
3. Современные системы подачи СОЖ	18
3.1. Требования к СОЖ	18
3.2. Система фильтрации СОЖ	20
3.3. Система раздачи и регулирования СОЖ	22
4. Математическая модель процесса прокатки	23
4.1. Исходные данные. Очаг деформации	23
4.2. Удельное давление металла на валки	25
4.3. Установка зазора между рабочими валками	25
4.4. Форма поперечного сечения полосы	26
4.5. Свойства материала	28
4.6. Условия, ограничивающие процесс прокатки	28
4.7. Математическая модель толщины полосы при горячей прокатке	29
4.8. Межклетевое натяжение при непрерывной горячей прокатке	30
5. АСУПП	33
6. Направления развития	40
Библиографический список	40

*Копнов Владимир Иванович  
Оводенко Максим Борисович  
Гречников Федор Васильевич*

АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ УПРАВЛЕНИЕ  
ПРОЦЕССОМ ПРОКАТКИ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ

Редактор Т. И. Кузнецова  
Техн. редактор Н. М. Каленюк  
Корректор Н. С. Куприянова

Дон. тем. пл. 1989 г.  
Сдано в набор 20.08.89 г. Подписано в печать 3.10.89 г.  
ЕО 00343. Формат 60 × 84 1/16. Гарнитура литературная.  
Печать высокая. Усл. п. л. 2,4. Уч.-изд. л. 2,3.  
Т. 500 экз. Заказ 902. Цена 10 коп.

Куйбышевский ордена Трудового Красного Знамени авиационный институт имени академика С. П. Королева, 443086  
Куйбышев, ул. Московское шоссе, 34.

---

Тип. ЭОЗ Куйбышевского авиационного института, 443001,  
Куйбышев, ул. Ульяновская, 18.