СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ3					
1 ОСНОВЫ ТЕОРИИ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ9					
1.1 Задачи теории автоматического управления10					
1.2 Назначение систем автоматического регулирования (САР)10					
1.3 Принципы построения САР11					
1.3.1. Принцип разомкнутого управления11					
1.3.2. Принцип регулирования по возмущению (компенсации)12					
1.3.3. Принцип регулирования по отклонению (принцип Ползунова-Уатта)12					
1.3.4. Комбинированное регулирование					
1.3.5. Принцип адаптации14					
1.4 Системы оптимального управления14					
1.5 Понятие и показатели качества управления16					
1.6 Разновидности систем автоматического регулирования (САР)17					
1.7 Контрольные вопросы					
2 МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ, ОЦЕНКА КАЧЕСТВА И УСТОЙЧИВОСТИ РАБОТЫ СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЦЕССОВ ОМД20					
2.1 Типовые соединения элементов и их характеристики20					
2.2 Типовые звенья и их характеристики					
2.3 Устойчивость систем управления					
2.4 Типовые алгоритмы регулирования САУ25					
2.5 Моделирование технологических процессов					
2.6 Контрольные вопросы					
3 ФУНКЦИИ, РЕЖИМЫ РАБОТЫ И СТРУКТУРА АСУ ТП30					
3.1 ACУ ТП толстолистового стана 5000 OAO «ММК»33					
3.1.1. Уровень 2 – Система управления технологическими процессами					
3.1.2. Уровень 1 - Система базовой автоматизации35					

3.1.2.1. Регулирование толщины для чистовой клети3	5
3.1.2.1.1. Позиционирование электромеханически нажимных винтов	
3.1.2.1.2. Гидравлическое регулирование раствора валко 36	в
3.1.2.1.3. Автоматическое регулирование толщины3	6
3.1.2.1.4. Динамическая компенсация возмущении3	6
3.1.2.1.5. Управление конусообразности	7
3.1.2.1.6. Управление направлением прокатки3	7
3.1.2.2. Контроль профиля и плоскостности для чистово клети	
3.1.2.2.1. Регулирование противоизгиба рабочих валков .3	8
3.1.2.2.2. Регулирование сдвижки рабочих валков CV PLUS	
3.1.2.2.3. Системы технологического управления дл регулирование манипуляторных направляющих	
3.2 Контрольные вопросы	9
4 ЭЛЕМЕНТЫ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ В МИКРОПРОЦЕССОРНОЙ ТЕХНИКИ, ИХ ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССА ОМД4	В
4.1 Контрольные вопросы	2
5 ПРИБОРЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ ПРОЦЕССОВ 1 КАЧЕСТВА ПРОДУКЦИИ4	
5.1 Измерение энергосиловых параметров4	5
5.1.1. Измерение давления металла на валки4	5
5.1.1.1. Определение давления металла на валки на основ измерения деформаций в деталях рабочей клети4	
5.1.1.2. Измерение давления металла на валки при помощ месдоз	
5.1.2. Измерение крутящего момента при прокатке5	2
5.1.2.1. Измерение крутящего момента по измерении мощности и скорости вращения электродвигателя и давлении металла на валки	ю

5.1.2.2. Непосредственное измерение крутящих моментов .53
5.1.3. Измерение натяжения
5.1.3.1. Измерение натяжения со смещением полосы с оси прокатки
5.1.3.2. Измерение натяжения и подпора без смещения полосы с оси прокатки55
5.2 Измерение геометрических размеров проката57
5.2.1. Приборы для измерения толщины проката, покрытий и стенки трубы57
5.2.1.1. Толщиномеры, основанные на измерении степени поглощения электромагнитного излучения или потока β-частиц59
5.2.1.2. Электромагнитные измерители толщины листов и покрытий60
5.2.1.3. Пневматические измерители толщины листов61
5.2.2. Приборы для измерения ширины листа и диметра проволоки
5.2.2.1. Приборы, основанные на фотокомпенсаионном методе измерения
5.2.2.2. Приборы, основанные на фотоследящем методе измерения
5.2.2.3. Приборы, основанные на фотоимпульсном методе измерения
5.2.3. Приборы для измерения длины прокатываемого металла67
5.2.3.1. Электромеханические измерители длины67
5.2.3.2. Фотоимпульсные измерители длины67
5.3 Измерение температуры
5.4 Контрольные вопросы
6 СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЦЕССОВ ОБРАБОТКИ МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ71
6.1 Позиционное управление нажимными устройствами рабочей клети73

6.2 Система ав группе клетей				
6.3 Системы ав группе клетей	-			
6.4 Система авт	гоматического р	егулирования ц	ирины поло	сы76
6.5 Системы а чистовой группе				
6.6 Контрольны	ые вопросы			79
ЗАКЛЮЧЕНИЕ				80
БИБЛИОГРАФИЧЕ	СКИЙ СПИСОН	ζ		82

ВВЕДЕНИЕ

Металлургия - отрасль промышленности, в которой автоматизации технологических процессов производства имеет большое значение. Она позволяет повысить эффективность производства и обеспечить необходимое качество продукции.

Для большинства металлургических машин и агрегатов характерны:

- Значительная протяженность и размер оборудования, задействованного в едином технологическом процессе;
 - Тяжелые и очень тяжелые условия работы;
- Жесткие требования по надежности и безотказности работы оборудования.

Развитию систем автоматизации в металлургическом производстве поспособствовало развитие электронной и вычислительной техники, а так же самих металлургических агрегатов, необходимость надежно, точно и быстро управлять машинами, двигателями и сложными технологическими процессами.

Все сказанное относится к самым распространенным и наиболее сложным в плане автоматизации и управления металлургическим технологическим комплексам - прокатным станам.

Начало работ по автоматизации процессов черной металлургии СССР следует отнести к концу тридцатых годов двадцатого века, когда были разработаны и внедрены системы регулирования теплового режима мартеновских печей на Магнитогорском и Кузнецком металлургических комбинатах. Были произведены работы по комплексной автоматизации блюминга № 2 Магнитогорского металлургического комбината. Была внедрена система автоматизированного управления раскроем проката на базе специализированной вычислительной машины «Сталь» [9].

Широко развернулись работы по автоматизации процессов черной металлургии в пятидесятые годы. Созданы системы регулирования доменных и мартеновских печей, нагревательных и термических печей, прокатных станов, различных энергетических установок. Существенные результаты были получены в области автоматизации процессов электроплавки — разработаны системы управления тепловым и электрическим режимами дуговых печей. В эти же годы В.А. Сорокиным была осуществлена первая попытка применения ЭВМ для расчёта и управления теплового состояния доменной печи.

Со второй половины шестидесятых годов в связи с развитием ЭВМ и появлением достаточно дешёвых, надёжных и

быстродействующих ЭВМ в мире появились первые автоматизированные системы управления (АСУ).

В металлургии были созданы 350-ти тонные кислородные конвертеры, прокатные станы производительностью более 5 млн. тонн проката в год и др., поэтому существенно возросли требования к качеству продукции и экономичности производства.

Начало 70-х годов ознаменовалось появлением специализированных промышленных управляющих вычислительных машин (УВМ) и созданием на их базе принципиально новых сложных комплексов автоматизации технологических процессов прокатки.

ACУ позволяла управлять рациональным раскроем металла на ножницах, обеспечивала сбор и обработку технологической информации на участках рабочей клети и ножниц блюминга.

К середине 70-х на всех непрерывных станах холодной прокатки были внедрены комплексные системы автоматического регулирования толщины и натяжения полосы, обеспечившие поддержание заданной толшины полосы.

Современные системы управления строятся по модульному принципу на базе унифицированных аппаратных и программных средств вычислительной техники и объединяют функции технологической подготовки производства, управления технологическими комплексами и отдельными агрегатами, графического представления оперативной информации, работы с большими базами данных и численного анализа на основе сложных математических моделей в реальном времени.

Системы управления современных прокатных станов обеспечивают:

- повышение производительности за счет оптимального согласования различных технологических операций;
- максимальную технологическую гибкость прокатного оборудования и минимальную длительность его наладки;
- существенное повышение качества готовой продукции при минимальных производственных допусках;

1 ОСНОВЫ ТЕОРИИ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

Теория автоматического управления изучает общие принципы построения автоматических систем и методы их исследования независимо от физической природы процессов, происходящих в них [5].

В 20 век в условиях технической и информационной революций, освобождающих людей от выполнения рутинных. Монотонных и тяжелых видов труда, любое производство насыщено средствами механизации и автоматизации. Поэтому в процессе работы инженеру любой специальности приходится участвовать в проектировании, расчете, исследовании системы автоматического регулирования или эксплуатировать объекты, оборудованными такими автоматическими устройствами.

Управление объектом - это процесс воздействия на него с целью обеспечения требуемого течения процессов в объекте или требуемого изменения его состояния.

Замену труда человека в операциях управления называют автоматизацией, а технические устройства, выполняющие операции управления — автоматическими устройствами. Выполнение всех операций по управлению без непосредственного участия человека называется автоматическим управлением, а система реализующая его — системой автоматического управления (САУ).

Система, в которой автоматизирована только часть управленческих операций, а другая их часть (обычно наиболее ответственная) выполняется людьми, называется автоматизированной системой управления (ACY).

Возмущающие воздействия



Рис. 1.1. Структурная схема воздействий на объект управления

Объект управления – совокупность технических средств – машин, орудий труда, средств механизации, выполняющие данный процесс.

Внешняя среда реально оказывает на каждый объект управления многочисленные воздействия, и если бы объект обладал «конструктивной жесткостью» и «динамической прочностью» (выполнение функций с

требуемой точностью, несмотря на инерционные свойства и неизбежные помехи), потребности в автоматическом регулировании не возникает.

Все воздействие на объект учесть практически невозможно, поэтому в поле зрения остаются лишь те, которые оказывают наибольшее влияние на выходные величины и называют их входными воздействиями. Входные воздействия с точки зрения их влияния на действия объекта, на его выходные величины разделяют на две принципиальные группы. Те, которые обеспечивают желаемое изменение поведения объекта, называют управляющими. При их отсутствии задача управления вообще не имеет решения. При ручном управлении воздействие на объект организует оператор, а при автоматическом – управляющее устройство. Те воздействия, которые мешают достижению цели, и изменить их, как правило, невозможно, называют возмущающими.

1.1 Задачи теории автоматического управления

Основными задачами ТАУ являются исследования статических и динамических свойств автоматических систем и разработка систем, удовлетворяющих заданным техническим требованиям.

В ТАУ исследуется две основные задачи [5]:

- анализ систем автоматического управления;
- синтез систем автоматического управления.

Первая из них, задача анализа, состоит в исследовании процесса работы определенной системы автоматического управления с заданной структурой и элементами при различных параметрах элементов и различных видах воздействий на систему.

Вторая задача, синтез, является более сложной и состоит в построении системы автоматического управления; в нее входит выбор схемы управляющего устройства, его элементов и их параметров.

1.2 Назначение систем автоматического регулирования (САР)

Стабилизирующая автоматическая система управления — это система, предназначенная поддерживать постоянным какой-либо параметр объекта [6].

Программная автоматическая система предназначена изменять значение управляемой величины в соответствии с заранее известной функцией времени.

Следящая автоматическая система предназначена для изменения управляемой величины в соответствии с изменением другой величины,

которая действует на входе системы и закон изменения которой заранее неизвестен.

В стабилизирующих, программных и следящих системах цель управления заключается в обеспечении равенства или близости управляемой величины ее заданному значению, осуществляемое поддержанием $x(t) \approx x_3(t)$, называется регулированием.

1.3 Принципы построения САР

1.3.1. Принцип разомкнутого управления

Сущность принципа заключается в том, что алгоритм управления вырабатывается только на основе алгоритма функционирования и не контролируется другими факторами-возмущениями или выходными координатами процесса. Функциональная схема показана ниже [5].

Близость X и $X_{\rm o}$ обеспечивается только конструкцией и подбором физических закономерностей, действующих в элементах. Несмотря на очевидные недостатки принцип используется довольно широко. Элементы, входящие в разомкнутую цепь входит в состав любой системы, поэтому принцип представляется настолько простым, что его не всегда выделяют как один из фундаментальных принципов.

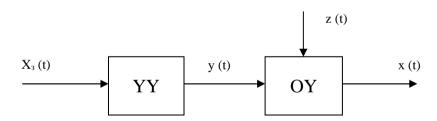


Рис. 1.2. Функциональная схема разомкнутого управления $(X_3(t) - 3$ адает алгоритм функционирования)

К элементам разомкнутого типа можно отнести: логические элементы и, или, не, датчики программы и сам программный механизм, т.е. устройство пуска и, например, программированный кулачковый механизм счетно-решающие элементы.

1.3.2. Принцип регулирования по возмущению (компенсации)

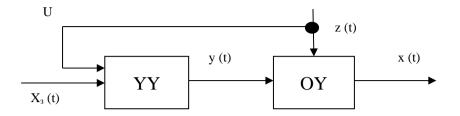


Рис. 1.3. Функциональная схема регулирования по возмещению

Состоит в том, что из различных возмущений, действующих в системе, выбирается одно главное, на которое реагирует САР. В этом случае компенсируется внешнее влияние на регулируемый параметр только основного возмущающего воздействия, и управляющее воздействие вырабатывается в системе в зависимости от результатов изменения основного возмущения, действующего на объект.

Недостатки:

- применение ограничено объектами, характеристики которых известны:
- поскольку система, по сути, разомкнутая, появляются отклонения управляемой величины с изменением характеристик объекта и элементов системы;
- пстраняются воздействия, по которым созданы компенсационные каналы.

1.3.3. Принцип регулирования по отклонению (принцип Ползунова-Уатта)

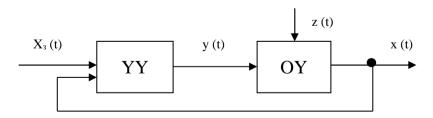


Рис. 1.4. Функциональная схема регулирования по отклонению

Достоинства:

- уменьшает отклонение регулируемой величины не зависимо от факторов вызвавших это отклонение;
- менее чувствителен к изменениям параметров элементов системы по сравнению с разомкнутыми системами.

Недостатки:

- в простых одноконтурных системах нельзя достичь абсолютной инверсности:
 - возникает проблема устойчивости.

Управляющее (регулирующее) воздействие вырабатывается на основании разности регулируемой и задаваемой величин. Единственным образом заданная связь называется главной. Регулируемый параметр через главную обратную связь подается на вход регулятора с обратным знаком по отношению к q(t). Поэтому главная связь считается отрицательной.

Отрицательная черта замкнутой системы ее универсальность. Любое отклонение регулируемого параметра от заданного значения вызывает появление управляющего воздействия независимо от числа, вида и места приложения возмущений.

В системах, работающих по принципу отклонения для формирования управляющего воздействия необходимо наличие ошибки. Само по себе это является недостатком, так как именно ошибку требуется изменить регулятором. При управлении сложными инерционными объектами, когда управляющее воздействие не может вызвать мгновенного изменения регулируемого параметра, возникающая ошибка может иметь недопустимо большое значение.

1.3.4. Комбинированное регулирование

Каждый из рассмотренных выше примеров имеет свои достоинства и недостатки. Поэтому для создания автоматических систем высокой точности обычно используют принцип комбинированного регулирования, сочетающий в себе оба принципа.

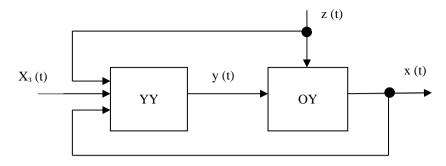


Рис. 1.5. Функциональная схема комбинированного регулирования

В комбинированной системе внешнее воздействие компенсируется регулирующим воздействием в соответствии с его изменением, а воздействие по отклонению используется для устранения погрешностей, возникающих в результате неточности регулирования.

1.3.5. Принцип адаптации

(приспособление) Принципы алаптации используется В самонастраивающихся САР. Особенностью их является то, что они автоматически приспосабливаются к изменяющимся условиям работы и выбирают оптимальный закон регулирования. Рассмотренные ранее САР с неизменной настройкой регулируемого параметра, в которых процесс регулирования сводится к ликвидации не могут обеспечить нормальную работу регулирования, если его статические и динамические характеристики изменяются во времени. В таких случаях необходимо изменить или настройки регулятора, или характеристики и параметры отдельных элементов системы, или схему элементов, или даже вводить в действие новые элементы.

1.4 Системы оптимального управления

В настоящее время при разработке АСУ ТП и АСУП большое внимание уделяется системам оптимального управления. В этих системах целью управления является обеспечение наилучшего (максимального или минимального) значения критерия оптимального управления (критерия оптимальности). В качестве критерия оптимального управления могут быть выбраны различные технические или экономические показатели, например время перехода из одного состояния в другое, среднее отклонение какой-либо регулируемой величины от заданного значения в

определенный промежуток времени, производительность объекта, показатели качества продукции, затраты сырья или энергии, себестоимость продукции [5].

В общем случае критерий оптимального управления I зависит от управляемой величины x, возмущений (помех) z, управляющего воздействия (управления) u, а также от времени τ , т.е.

$$I = F(x, z, u, \tau)$$
.

Задача оптимального управления состоит в отыскании такого управляющего воздействия $\mathbf{u}(\tau)$, которое обеспечивает экстремальное значение функционалу I_{min} или I_{max} . Критерий оптимальности часто имеет интегральную форму:

$$I = \int_{\tau_1}^{\tau_2} f(x, z, u, \tau) d\tau.$$

Критерий оптимального управления выбирается (разрабатывается) достаточно условно в зависимости от требований производства, стремлений разработчика системы и т.п. поэтому не существует оптимального управления "вообще", а есть оптимальное управление в определённом (заданном) смысле.

В любой системе управления есть ограничения на регулируемые величины и управляющие воздействия, обусловленные разными причинами: стойкостью агрегата, (например, максимально допустимой температурой футеровки), технологией производства (максимально допустимая температура металла в печи), ресурсами управления (максимально возможная тепловая мощность в мартеновской печи, расход кислорода в конвертере), скоростью изменения управляющих воздействий и т.п. Учитывая сказанное можно дать ещё одно определение оптимального управления: *оптимальным*, в определённом (заданном) смысле *управлением* называется динамический процесс, целесообразно использующий ресурсы системы для достижения при данных ограничениях экстремума критерия оптимального управления.

В сложном металлургическом процессе часто под оптимизацией приходится понимать поиск компромиссного решения при выборе наиболее приемлемых параметров технологического процесса для конкретных условий работы агрегата (влияние соседних агрегатов, наличие ресурсов управления, ограничения и др.). Такие задачи в рамках АСУ ТП во многих случаях можно решать лишь с участием опытных операторов-технологов в диалоговом режиме их работы с ЭВМ.

1.5 Понятие и показатели качества управления

Качество автоматической системы управления определяется свойств. совокупностью обеспечивающих эффективное функционирование как самого объекта управления, так и управляющего устройства, т. е. всей системы управления в целом. В теории автоматического управления термины «качество управления» используют в узком смысле: рассматривают только статические и динамические системы Такие свойства системы, выраженные количественной форме, называют показателями качества управления. Эти свойства предопределяют точность поддержания управляемой величины на заданном уровне в установившихся и переходных режимах, т. е. обеспечивают эффективность процесса управления.

Точность системы в переходных режимах оценивают при помощи прямых и косвенных показателей. Прямые показатели определяют по графику переходного процесса, возникающего в системе при ступенчатом внешнем воздействии. Косвенные показатели качества определяют по распределению корней характеристического уравнения или по частотным характеристикам системы.

К особой категории показателей качества относятся так называемые интегральные оценки, которые вычисляют либо непосредственно по переходной функции системы, либо по коэффициентам передаточной функции системы.

Точность системы в переходных режимах определяется величинами отклонений управляемой переменной x(t) от заданного значения $x_3(t)$ и длительностью существования этих отклонений.

При самой общей оценке качества обращают внимание прежде всего на форму переходного процесса. Различают следующие типовые переходные процессы (рис. 1.6): колебательный (кривая 1), монотонный (кривая 2) и апериодический (кривая 3).

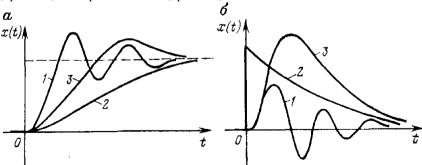


Рис. 1.6. Типовые переходные процессы: а — по заданию; б—по возмущению

1.6 Разновидности систем автоматического регулирования (CAP)

- І. По методу управления САР и делятся на:
- системы, неприспосабливающиеся к изменяющимся режимам работы объекта регулирования;
 - приспосабливающиеся системы, т.е. адаптивные.

Неприспосабливающиеся системы - это наиболее простые системы, которые не изменяют своей структуры и параметров в процессе управления. Этот класс систем включает в себя три типа:

- стабилизирующие системы обеспечивают поддержание регулируемой величины на постоянном заданном значении.
- программные системы обеспечивают изменение регулируемой величины во времени по заранее заданной программе.
- следящие системы обеспечивающие изменение регулируемой величины в заданном соотношении с управляющим воздействием, которое изменяется произвольным образом, не зависящим от данной системы.

Приспосабливающиеся системы — это такие системы, в которых параметры управляющих устройств или алгоритмы управления автоматически и целенаправленно изменяются для осуществления управления объектом. Адаптивная система способна изменить свою структуру, параметры или программу действий в процессе управления.

- II. По характеру использования информации САР и САУ делятся на:
 - замкнутые системы;
 - разомкнутые системы;
 - комбинированные системы.

Замкнутые системы для своей работы используют текущую рабочую информацию о выходных величинах, определяют отклонение регулируемой величины от заданного значения и принимают меры для устранения этого отклонения.

Разомкнутые системы не используют рабочую информацию о регулируемых величинах т.к. отсутствует обратная связь. Работа таких систем основана на информации о входных величинах.

Разомкнутые системы делятся на:

- системы с жесткой программой предназначены для автоматического пуска и останова комплекса механизмов, в котором должна выдерживаться определенная последовательность работы отдельных механизмов;
- системы с регулированием или управлением по возмущению используют информацию о входных величинах возмущениях и принимают меры, чтобы указанные возмущения не оказывали влияние на выходную величину, т.е. как бы компенсируют их.

В реальной системе всегда имеются возмущения, в том числе случайные и не контролируемые, которые могут вызвать отклонение регулируемой величины от заданного значения, поэтому на практике часто используют комбинированные системы автоматического регулирования. Они сочетают в себе оба принципа регулирования: по отклонению и по возмущению.

III. По результатам работы в установившемся состоянии системы лелятся на:

- астатические системы;
- статические системы.

В астатических системах регулируемая величина после окончания переходного процесса точно равна заданному значению.

В статической системе после окончания переходного процесса возникает разность между заданным и установившимся значениями регулируемой величины. Эта разность называется статической ошибкой.

IV. По числу регулируемых величин системы бывают:

- одномерные;
- многомерные.

К одномерным системам относятся простейшие системы с одной регулируемой величиной. Большинство систем относится к многомерным, т.к. они имеют множество регулируемых величин.

V. По характеру изменения регулирующих воздействий во времени:

- непрерывные системы;
- дискретные системы.

В непрерывных системах информация об их работе и регулирующие воздействия являются непрерывными функциями времени, т.е. в каждом элементе системы при наличии непрерывного

изменения входной величины также непрерывными являются и выходные величины.

В *дискретных системах* информация и регулирующие воздействия появляются только в определенные моменты времени. Дискретные системы делятся на три класса:

- релейные системы;
- импульсные системы;
- цифровые системы.

VI. По виду энергии применяемой для работы:

- прямого действия;
- косвенного действия.

В системах прямого действия для перемещения регулирующего органа применяется внутренняя энергия системы, например, энергия чувствительного элемента.

В системах косвенного действия для работы используется внешняя энергия.

В зависимости от вида используемой внешней энергии, системы косвенного действия делятся на:

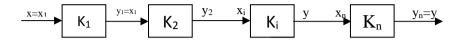
- электрические;
- пневматические;
- гидравлические;
- комбинированные.

1.7 Контрольные вопросы

- 1 Что изучает теория автоматического управления?
- 2 Что такое управление объектом?
- 3 Виды воздействий на объект управления.
- 4 Сформулировать основные задачи теории автоматического управления.
 - 5 Каково назначение системы автоматического регулирования?
 - 6 Чем отличаются основные принципы построения САР?
 - 7 Что такое критерий оптимальности?
 - 8 Чем характеризуются приспосабливающиеся системы?

2 МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ, ОЦЕНКА КАЧЕСТВА И УСТОЙЧИВОСТИ РАБОТЫ СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОПЕССОВ ОМЛ

2.1 Типовые соединения элементов и их характеристики



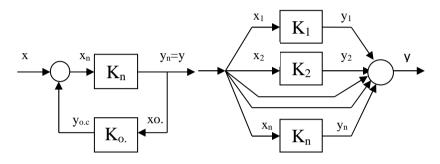


Рис. 2.1. Типовые соединения элементов

Алгоритмическая структура любой САУ представляет собой комбинацию трех типовых соединений звеньев: последовательного, паралельного и встречно-паралельного (охват обратной связью), как показано на рисунке [5].

Последовательным соединением называют такое соединение, в котором выходная величина каждого предыдущего элемента является входным воздействием для последующего элемента. Поскольку для каждого і-го элемента уравнения статики запишется

$$y_i = k_i y_{i-1},$$

то общий коэффициент передачи последовательно соединенных звеньев равен произведению их передаточных коэффициентов

$$k_{\scriptscriptstyle 9} = \prod_{i=1}^n k_i.$$

Соответственно эквивалентная передаточная функция последовательного соединения из n звеньев равна произведению n передаточных функций звеньев

$$W_{9}(p) = \prod_{i=1}^{n} W_{i}(p).$$

Параллельным соединением называют такое соединение, при котором на вход всех звеньев поступает одно и то же воздействие, а их выходные величины суммируются. Согласно этому определению

$$x = x_1 = \dots = x_i = \dots = x_n,$$

 $y = y_1 + \dots + y_i + \dots + y_n,$
 $y_i = k_i x_i,$

то общий коэффициент передачи параллельно соединенных звеньев равен сумме их передаточных коэффициентов

$$k_{\mathfrak{g}} = \sum_{i=1}^{n} k_{i}.$$

Соответственно эквивалентная передаточная функция параллельного соединения из n звеньев равна сумме n передаточных функций звеньев

$$W_{9}(p) = \sum_{i=1}^{n} W_{i}(p).$$

Встречно-параллельным соединением двух звеньев (соединением с обратной связью) называют такое соединение, при котором выходной сигнал первого звена поступает на вход второго, а выходной сигнал второго элемента суммируется с общим входным сигналом. Первое звено называется звеном прямой цепи, а второй элемент — звеном обратной связи. В зависимости от знака сигнала обратной различают положительные и отрицательные обратные связи. Согласно определению понятия обратной связи можно записать уравнения:

прямой связи

$$y_{\Pi} = k_{\Pi} x_{\Pi},$$

обратной связи

$$y_{o.c.} = k_{o.c} y$$
,

и узла суммирования

$$x_{\Pi} = x \mp y_{o.c.}$$

Подставляя, получаем уравнение статики соединений с обратной связью

$$y = x \frac{k_{II}}{1 \pm k_{II} k_{o.c.}}.$$

Отсюда получим

$$k_{\mathfrak{I}} = \frac{k_{\pi}}{1 \pm k_{\pi} k_{OC}}.$$

общий коэффициент передачи звена, охваченного обратной связью, равен коэффициенту прямой цепи, разделенному на единицу плюс произведение коэффициентов прямой и обратной связи.

Причем знак «+» соответствует отрицательной обратной связи, а знак «-» – положительной.

Соответственно эквивалентная передаточная функция соединения с обратной связью равна:

$$W_{_{9}}(p) = \frac{W_{_{\Pi}}(p)}{1 \pm W_{_{\Pi}}(p)W_{_{O.C.}}(p)}.$$

 Γ де знак «+» соответствует отрицательной обратной связи, а знак «-» – положительной.

2.2 Типовые звенья и их характеристики

Типовые звенья описываются уравнением:

$$a_0y''(t) + a_1y'(t) + a_2y(t) = b_0x'(t) + b_1x(t).$$

Принято приводить уравнение звена к стандартному виду в символической записи:

$$(T_2^2p^2+T_1p+1)y=k (\tau p+1)x$$

где $T_2{}^2=a_0/a_2;\,T_1=a_1/a_2;\,\, au=b_0/b_1$ - постоянные времени; $k=b_1/a_2.$

Из общего вида уравнения или передаточной функции можно сделать некоторые выводы о свойствах звеньев. Если коэффициенты a_2 и b_1 не равны нулю, то такие звенья называются статическими или позиционными, что говорит о наличии уравнения статичеи.

Таблица 2.1 Типовые звенья

No	Тип звена		Передаточная функция		
1	Безынерционное		W(p) = k		
2		Апериодическое 1-го порядка	$W(p) = \frac{k}{1 + Tp}$		
3	Позиционные	Апериодическое 2-го порядка	$W(p) = k$ $W(p) = \frac{k}{1 + Tp}$ $W(p) = \frac{k}{1 + T_1 p + T_2^2 p^2}$ $= \frac{k}{(1 + T_3 p)(1 + T_4 p)}$ $T_{3,4} = \frac{T_1}{2} \pm \sqrt{\frac{T_1^2}{4} - T_2^2 (T_1 > 2T_2)}$ $W(p) = \frac{k}{1 + 2\varepsilon Tp + T^2 p^2}$		
4		Колебательное	$W(p) = \frac{k}{1 + 2\varepsilon T p + T^2 p^2}$ $= \frac{k}{1 + \frac{2\varepsilon}{q} p + \frac{p^2}{q^2}}$		
5		Консервативное	$= \frac{k}{1 + \frac{2\varepsilon}{q}p + \frac{p^2}{q^2}}$ $W(p) = \frac{k}{1 + T^2p^2} = \frac{k}{1 + \frac{p^2}{q^2}}$		
6	iee	Идеальное интегрирующее	$W(p) = \frac{k}{p}$		
7	ирую	Интегрирующее с замедлением	$W(p) = \frac{k}{p(1+Tp)}$		
8	Интегрирующее	Изодромное	$W(p) = \frac{k}{p}$ $W(p) = \frac{k}{p}$ $W(p) = \frac{k}{p(1+Tp)}$ $W(p) = \frac{k}{p} + k_1 = \frac{k(1+Tp)}{p}$ $T = \frac{k_1}{k}$ $W(p) = kp$		
9		Идеальное дифференцирующее	W(p) = kp		
10	Дифференцирующие	Дифференцирующее с замедлением	$W(p) = \frac{kp}{1 + Tp}$		

2.3 Устойчивость систем управления

Одной из важнейших характеристик автоматической системы управления наряду с точностью является устойчивость. От устойчивости зависит работоспособность системы.

Устойчивость автоматической системы — это свойство системы возвращаться в исходное состояние равновесия после прекращения воздействия, выведшего систему из этого состояния. Неустойчивая система не возвращается в исходное состояние, а непрерывно удаляется от него.

Неустойчивость автоматических систем управления возникает, как правило, из-за неправильного или очень сильного действия главной обратной связи. Неправильное действие главной обратной связи имеет место обычно в тех случаях, когда из-за ошибки, допущенной при монтаже системы, связь оказывается положительной (вместо отрицательной), что практически при любых параметрах делает систему неустойчивой. Возникающую при этом неустойчивость называют статической.

Более сложным и более распространенным видом неустойчивости является динамическая неустойчивость. Она проявляется в системах с отрицательной обратной связью, при достаточно большом значении передаточного коэффициента разомкнутого контура и при количестве инерционных звеньев, не меньшем трех. Причиной динамической неустойчивости обычно является значительная инерционность элементов замкнутого контура, из-за которой в режиме колебаний системы сигнал главной обратной связи значительно отстает от входного сигнала и оказывается с ним в фазе.

Система является устойчивой, если свободная составляющая $x_C(t)$ переходного процесса с течением времени стремится к нулю, т. е. если

$$\lim_{t\to\infty}x_c(t)=0,$$

а если свободная составляющая неограниченно возрастает, т. е. если

$$\lim_{t\to\infty}x_c(t)=\infty,$$

то система неустойчива. Наконец, если свободная составляющая не стремится ни к нулю, ни к бесконечности, то система находится на границе устойчивости.

Критерии устойчивости могут быть алгебраическими и частотными. Частотные критерии определяют связь между устойчивостью системы и формой частотных характеристик системы.

2.4 Типовые алгоритмы регулирования САУ

1. Простейший закон регулирования реализуется при помощи безынерционного звена с передаточной функцией:

$$W_{p}(p)=y(p)/\mathcal{E}(p)=k_{\Pi}=k_{p}$$

Согласно этому выражению управляющее воздействие и в статике и в динамике пропорционально сигналу ошибки ε . Поэтом такой закон регулирования называется пропорциональным (Π).

Преимущества П-регулятора — простота и быстродействие, недостатки — ограниченная точность (особенно при управлении объектами с большой инерционностью и запаздыванием).

2. Закон регулирования, которому соответствует передаточная функция

$$W_p(p) = k_u/p = k_p/T_u p$$

называется интегральным (И). При интегральном законе регулирования управляющее воздействие y в каждый момент времени пропорционально интегралу от сигнала ошибки ε . Поэтому И-регулятор реагирует главным образом на длительные отклонения управляемой величины от заданного значения. Кратковременные отклонения сглаживаются таким регулятором.

Преимущества интегрального закона — лучшая точность в установившихся режимах, недостатки — худшие свойства в переходных режимах (меньшее быстродействие и большая колебательность).

3. Наибольшее распространение в промышленной автоматике получил пропорционально-интегральный (ПИ) закон регулирования

$$W_{\rm p}(p) = k_{\rm II} \, + \, k_{\rm II}/p \, = k_{\rm p} \, + \, k_{\rm p}/T_{\rm II} \, p \, = k_{\rm p} \, (T_{\rm II} \, p \, + \, 1)/T_{\rm II} \, p$$

Благодаря наличию интегральной составляющей ПИ-закон регулирования обеспечивает высокую точность в установившихся режимах, а при определенном соотношении коэффициентов $k_{\rm II}$ и T_u обеспечивает хорошие показатели и в переходных режимах.

4. Наилучшее быстродействие достигается при пропорциональнодифференциальном (ПД) законе регулирования

$$W_{\mathbf{p}}(p) = k_{\Pi} + k_{\mathbb{A}}p = k_{\mathbf{p}} + k_{\mathbf{p}}T_{\mathbb{A}}p$$

ПД-регулятор реагирует не только на величину сигнала ошибки, но и на скорость его изменения. Благодаря этому при управлении достигается эффект упреждения. Недостатком пропорционально-дифференциального закона регулирования является ограниченная точность.

5. Наиболее гибким законом регулирования (в классе линейных законов) является пропорционально-интегрально-дифференциальный (ПИД) закон который сочетает в себе преимущества более простых законов

$$W_p(p) = k_{\Pi} + k_{\text{u}}/p + k_{\text{д}}p = k_p (T_{\text{u}} p + 1 + T_{\text{u}} T_{\text{д}} p^2)/T_{\text{u}} p.$$

Коэффициенты и постоянные времени, входящие в передаточные функции типовых регуляторов, называются настроечными параметрами и имеют следующие наименования: $k_{\rm II}$, $k_{\rm II}$, $k_{\rm II}$, соэффициенты пропорциональной, интегральной и дифференциальной части; $k_{\rm P}$ передаточный коэффициент регулятора; $T_{\rm II}$ постоянная времени интегрирования; $T_{\rm II}$ постоянная времени дифференцирования.

Параметры, входящие в различные записи ПИД-закона, связаны между собой соотношениями:

$$k_{\rm II} = k_{\rm p}$$
; $k_{\rm II} = k_{\rm p} / T_{\rm II}$; $k_{\rm II} = k_{\rm p} T_{\rm II}$.

2.5 Моделирование технологических процессов

Модель – некоторый объект, в котором с определенной степенью полноты и точности воспроизводятся процессы, идущие в реальной системе.

Все модели могут быть поделены на физические и математические.

Математические модели объектов управления технологических процессов являются частью математического обеспечения АСУ ТП и представляют собой описание объекта на формальном математическом языке (алгебраические, дифференциальные, интегральные уравнения с соответствующими ограничениями начальными И граничными условиями), позволяющие выносить количественное суждение о параметрах процесса. При автоматизации технологических процессов математические модели дают возможность рассчитывать изменение выходных величин объекта при различных входных воздействиях, а также соответствующие управляющие воздействия.

Математическая модель сложного технологического процесса даёт упрощенное, приближённое описание этого процесса, однако, при использовании современных ЭВМ математическую модель можно

усложнить практически до любого уровня точности. Вместе с тем, потребная точность и, следовательно, сложность модели зависят от её назначения, и при разработке модели следует исходить из поставленных задач с тем, чтобы не усложнять модели тогда, когда это не требуется.

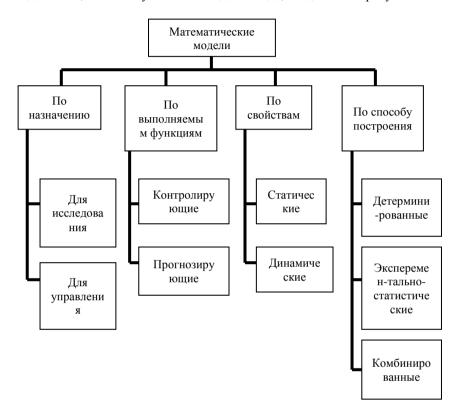


Рис. 2.2. Классификация математических моделей

По назначению математические модели могут разрабатываться для технологических исследований и для управления. Первые должны давать возможность исследовать технологический процесс без экспериментов с целью его совершенствования, а в некоторых случаях разрабатывать новые технологические процессы.

Математические модели могут быть предназначены для расчёта тех выходных величин процесса, которые невозможно определить непосредственными измерениями на объекте (отсутствуют датчики), или для расчёта некоторых комплексных величин, лучше характеризующих

процесс, чем измеряемые величины. Такие модели называются контролирующими.

Прогнозирующие модели позволяют рассчитывать изменение выходных величин или их значения в какой-то будущий момент времени, т.е. прогнозировать ход процесса. Эти модели преимущественно используются при оптимальном управлении, поскольку предварительный расчёт и последующая реализация оптимальных управляющих воздействий возможны только тогда, когда мы можем прогнозировать ход процесса при этих воздействиях еще до получения окончательного результата.

По свойствам во времени модели подразделяются на статические и динамические. Статические модели позволяют рассчитывать параметры процесса без учёта времени. Это могут быть модели для расчёта некоторых комплексных параметров на, основе измерения ряда величин в данный момент времени.

К статическим относятся также модели для расчета (прогнозирования) конечных значений управляемых величин (например, конечного содержания углерода в металле в конвертере) без привязки их по времени и расчёта интегральных (не распределенных во времени) управляющих воздействии (например, расчет общего количества кислорода на плавку в конвертере). Статические модели состоят ив алгебраических уравнений.

Динамические модели дают возможность рассчитывать значение выходных величин и управляющих воздействий во времени и отроятся на основе дифференциальных уравнений, хотя обычно в них присутствуют и алгебраические соотношения.

Модели, построенные на основе теоретических представлений о процессе и использующие физические и химические закономерности, называют детерминированными (теоретическими). Строго детерминированные модели можно создать только для довольно простых процессов. Обычно в таких моделях присутствует некоторое число экспериментальных соотношений, но за моделями сохраняют название детерминированных, если роль экспериментальных соотношений невелика.

Экспериментально-статистические модели строятся в том случае, когда нет чёткого представления о физике процесса или когда описываются очень сложные процессы. Для их построения используются экспериментальные данные или результаты длительной эксплуатации агрегата, подвергаемые затем статистической обработке (регрессивный и корреляционный анализы). В результате получаются вероятностные соотношения, называемые стохастическими моделями.

Наиболее часто применяются комбинированные модели, в которых используется и детерминированный, и статистический принципы составления моделей. В таких моделях основные уравнения получены на основе теоретических представлений, но входящие в них коэффициенты определяются статистическим путём.

2.6 Контрольные вопросы

- 1 Назвать основные типы соединений звеньев САУ и дать им определения.
 - 2 Что такое статические (позиционные) звенья?
 - 3 Назвать основные типы звеньев.
- 4 Что входит в понятие устойчивости системы автоматического регулирования?
 - 5 Перечислить виды неустойчивости.
 - 6 Назвать основные законы регулирования.
- 7 Перечислить преимущества и недостатки основных законов регулирования.
 - 8 Что такое математическая модель?

3 ФУНКЦИИ, РЕЖИМЫ РАБОТЫ И СТРУКТУРА АСУ ТП

Основной задачей прокатного производства является получение продукции с качеством, удовлетворяющим требования потребителей (геометрических размеров, формы, физико-механических свойств и состояния поверхности проката заданным требованиям).

Основные технологические операции:

- подготовка металла к прокатке;
- нагрев металла перед прокаткой;
- прокатка металла;
- отделка проката.

Оборудование прокатного стана подразделяется на *основное* и *вспомогательное*. Основное оборудование участвует непосредственно в прокатке металла. Вспомогательное оборудование стана включает агрегаты, устройства и системы, предназначенные для перемещения прокатываемого металла, его разматывания и сматывания в бунты или рулоны, подогрева и охлаждения, резки и выполнения других операций.

Современные прокатные станы оснащены автоматизированными системами управления технологическим процессом прокатки (АСУ ТП)

АСУ ТП строится как иерархическая система управления. Непосредственное управление станом осуществляется локальными *управляющими* устройствами, составляющими нижний уровень иерархии. Следующий уровень образуют локальные системы, управляющие отдельными участками стана. На верхнем уровне иерархии располагается система управления станом в целом.

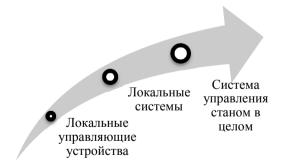


Рис. 3.1. Типичная структура АСУ ТП прокатного стана

В зависимости от стадии управления функции АСУ ТП подразделяют на *информационные* и *управляющие*. К информационным функциям относят сбор информации о состоянии стана и представление

ее в удобном для дальнейшего использования виде. К управляющим функциям относят выработку и реализацию управляющих воздействий на основании информации о состоянии стана.

По характеру функциональные задачи АСУ ТП можно подразделить на задачи *подготовки* стана к прокатке и задачи *непосредственного управления* прокаткой [9].



Рис. 3.2. Функциональные задачи АСУ ТП

Расчет программы прокатки полос заключается в определении законов изменения заданий локальным системам в функции времени и положения полос, обеспечивающих оптимальную прокатку партии полос.

Настройка стана заключается в выдаче локальным системам заданий, обеспечивающих приведение стана в исходное состояние для прокатки очередной партии полос, и реализацию этих заданий покальными системами.

Управление прокаткой полос включает управление темпом прокатки и управление станом при прокатке отдельных полосы.

Управление темпом прокатки имеет целью обеспечить прокатку полос на стане с оптимальными интервалами между ними.

Подготовка стана к прокатке следующей полосы включает коррекцию программы прокатки и подстройку стана. Коррекция программы прокатки выполняется с целью обеспечить оптимальную прокатку очередной полосы с учетом ее фактических характеристик.

Подстройка стана заключается в приведении его устройств и систем в исходное состояние для прокатки очередной полосы в соответствии с откорректированной программой прокатки. Коррекция программы прокатки проводится зональными УВМ.

Управление процессом прокатки отдельной полосы сводится к изменению заданий локальным системам стана в функции времени и положения прокатываемой полосы в соответствии с откорректированной программой прокатки полосы и реализации этих изменений локальными системами.

Общими требованиями к технологическому оборудованию являются достаточная мощность, быстродействие и надежность.

Автоматизация управления процессом прокатки обеспечивает увеличение качества по геометрии и механическим свойствам. Она существенно облегчает условия труда оперативного персонала прокатных станов и повышает его производительность, обеспечивает существенное сокращение расхода электроэнергии и топлива.

АСУТП прокатного стана должна функционировать в следующих режимах [10]:

- в информационно-советующем режиме, при котором средства вычислительной техники вырабатывают и выдают оперативному персоналу рекомендации по рациональному управлению процессом;
- в комбинированном режиме, при котором средства вычислительной техники автоматически изменяют уставки и параметры настройки локальных систем регулирования;
- в режиме прямого управления, при котором средства вычислительной техники обеспечивают непосредственное управление исполнительными устройствами.

АСУ ТП современного широкополосного стана горячей прокатки осуществляет автоматическое управление технологическим процессом, начиная от взвешивания слябов перед нагревательными печами и заканчивая маркированием рулонов на конвейерах моталок.

3.1 АСУ ТП толстолистового стана 5000 ОАО «ММК»

Требования к современной системе автоматизации существенно возросли. Из-за более усложняющегося оборудования заводов, операторы нуждаются в сложной системе автоматизации для того, чтобы иметь возможность оперативно осуществлять вмешательства, обеспечивать максимальную производительность стана и получать требуемое качество проката.

Для решения данных задач на стане имеется система непосредственно связанная с механическим оборудованием, технологией и другими элементами стана. Структура данной системы представлена на рис. 3.3.

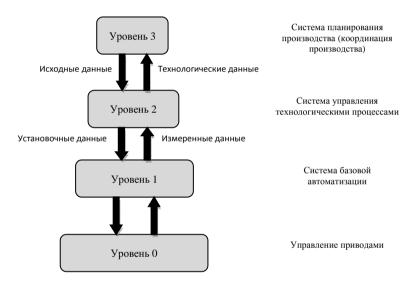


Рис. 3.3. Структура автоматизации ТЛС 5000 OAO «ММК»

3.1.1. Уровень 2 – Система управления технологическими процессами

Основными задачами автоматической системы второго уровня являются:

- получение товара высокого качества;
- обеспечение максимальной прибыли;
- минимум отходов;
- минимизация износа оборудования;

Уровень 2 АСУ ТП включает в себя следующие функции для выполнения поставленных задач:

- расчет настройки с помощью систем вычисления режима прохода при одновременном контроле профиля и планшетности;
 - база данных материала;
 - система слежения за материалом;
 - человеко-машинный интерфейс;

Во время процесса прокатки с третьего уровня на второй уровень системы автоматизации поступают все данные необходимые для производства. На основе этих данных модель процесса вычисляет параметры для настройки клети стана.

На стане реализуется 3 типа прокатки:

- нормальная прокатка (НП) в режимы нормальной прокатки лист прокатывается в клети стана без учета специальных температурных требований;
- контролируемая прокатка Нормирующая (КП-Н) лист прокатывается в клети стана с учетом специальных температурных требований и обжатия по толщине.
- контролируемая прокатка термомеханическая прокатка (КП-ТМП) лист прокатывается в клети стана, учитывая температурные требования и требования обжатия по толщине. Прокатка выполняется в 2 сталии.

Во время двухстадийных типов прокатки (КП-Н и КП-ТМП) в конце первой фазы наступает период охлаждения, при котором раскат не каким либо внешним подвергается воздействиям на него для приобретения свойств. В качестве зоны нужных охлаждения используется роликовый конвейер, расположенный по обе стороны от клети.

Для достижения требуемой формы проката используется следующая последовательность:

- подготовительный цикл (определение размера);
- расширительный цикл (увеличение ширины проката);
- цикл растяжения (увеличение длины проката).

При расчете режима прокатки в АСУ ТП используется 5 основных моделей:

• стратегическая модель – предоставление правильного режима проходов при прокатке и определение условий прокатки не нарушающих установленных допусков;

- физические модели данные модели учитывают все физические воздействия, которые могут повлиять на настройку стана;
- модель установки управляет всеми данными по настройке стана под прокатку. Описывает стан как сочетание нескольких отдельных зон;
- модель изделия управляет всеми соответствующими данными, необходимыми для описания прокатываемого металла. В модели изделия задается система координат, которая вместе с изделием перемещается по стану во время процесса прокатки;
- модель материала это база данных, которая содержит всю информацию, необходимую для описания физических свойств материала, предназначенного для прокатки.

3.1.2. Уровень 1 - Система базовой автоматизации

Назначение системы Уровня 1 базовой автоматизации является сбор и обработка переменных данных технологического процесса с помощью систем управления.

3.1.2.1. Регулирование толщины для чистовой клети

3.1.2.1.1. Позиционирование электромеханических нажимных винтов

Механические нажимные винты используются только для выставления раствора без нагрузки.

Управление электромеханическими нажимными винтами осуществляется с помощью Системы позиционирования электромеханических нажимных винтов. Данная система генерирует значения скорости, которые передаются на устройства управления приводами.

Положение шпинделей нажимных винтов измеряется при помощи линейных датчиков, расположенных на обеих сторонах клети.

Система позиционирования электромеханических винтов осуществляет управление сцеплением, торможением и устройством предотвращения застреваний.

3.1.2.1.2. Гидравлическое регулирование раствора валков

Клеть оснащена гидравлическими цилиндрами с большим ходом поршня. Гидравлические цилиндры перемещаются значительно быстрее, чем нажимные винты, и могут двигаться против усилия прокатки.

Гидравлическое регулирование раствора валков подразумевает выполнение следующих функций:

- регулирование положения и усилия отдельно по каждому цилиндру;
- плавное переключение с регулирования положения на регулирование усилия;
 - синхронизация работы цилиндров;
 - центрирование (выравнивание) по осевой линии валка;
- автоматическая последовательность калибровки (после перевалки валков);
 - адаптация в зависимости от хода цилиндра и давления;

3.1.2.1.3. Автоматическое регулирование толщины

Автоматическое регулирование толщины необходимо для поддержания постоянного раствора валков при изменениях усилия прокатки. Возможна работа как в абсолютном, так и в относительном режиме.

В абсолютном режиме раствор валков регулируется по уставке толщины, определенной оператором или при расчете графика прокатки в системе автоматизации Уровня 2.

В относительном режиме толщина листа, полученная после начала прокатки сляба (0.5 - 1 с), поддерживается на постоянном уровне по всей длине прокатываемого листа.

3.1.2.1.4. Динамическая компенсация возмущении

При помощи системы динамической компенсации возмущений снижаются дефекты, связанные с отклонением по толщине. Это достигается за счет непрерывной коррекции зазора.

Предусмотрены следующие режимы компенсации:

• всплывание шеек валков в подшипниках жидкостного трения.

Чем выше скорость намотки и чем меньше усилие, тем выше всплывание шеек опорных валков в подшипниках. Фактическая толщина

масляной плёнки используется для вычисления коррекции рабочего зазора.

• тепловая выпуклость рабочего валка.

Увеличение тепловой выпуклости вычисляется циклично системой контроля планшетности и профиля второго уровня. Система динамической компенсации возмущения рассчитывает соответствующую поправку для рабочего зазора.

3.1.2.1.5. Управление конусообразности

Прокатка конусообразного листа является вспомогательным методом для достижения постоянной толщины по всему готовому листу. На головном и хвостовом концах клиновидная толщина прокатывается в последовательности проходов. Для управления конусообразности предусмотрена синхронизация работы гидравлических цилиндров. По окончании последнего прохода достигается постоянная толщина по всей длине листа.

3.1.2.1.6. Управление направлением прокатки

На толстолистовых станах параллельность раствора валков, которая была отрегулирована последовательностью калибровки системы гидравлического регулирования раствора, нарушается, если имеет место разница усилий прокатки.

- Разница усилий прокатки обусловлена следующими факторами:
- Разница температур на стороне приводов и стороне оператора;
- Лист прокатывается не по центру стана;
- Коробоватость подката, в результате которой лист прокатывается не по центру стана.

Система контроля направления прокатки компенсирует помехи, используя измеренную разность между усилиями прокатки. Дифференциальное растяжение рассчитывается модулем уровня, зависящим от ширины, который получается путем моделирования работы клети стана.

3.1.2.2. Контроль профиля и плоскостности для чистовой клети

3.1.2.2.1. Регулирование противоизгиба рабочих валков

Уставки могут определяться моделью или вводиться вручную на посту управления. Оператор может в любое время корректировать данные параметры вручную.

В режиме перевалки закрытые контуры регулирования усилия отключаются, и включаются отдельные контуры для подъема/опускания верхнего рабочего валка и удерживания отпускания нижнего рабочего валка.

3.1.2.2.2. Регулирование сдвижки рабочих валков CVC PLUS

Система CVC предназначена для осевой сдвижки рабочих валков.

С помощью соответствующей шлифовки рабочих валков можно, сдвигая верхний и нижний валки в противоположные стороны, менять выпуклость и, как следствие, контур раствора валков.

Система сдвижки состоит из блоков с гидравлическим приводом. Данные блоки подключаются к подушкам рабочих валков посредством гидравлических муфт.

Для блоков сдвижки валков предусмотрены закрытые vправляющие контуры с сервоклапанами. Положение сдвижки измеряется линейным датчиком положения. Два блока воздействуют на верхний валок на входной и выходной сторонах, а два блока аналогично воздействуют на нижний валок. Два блока, осуществляющих сдвижку одного валка, имеют электрическую синхронизацию для предотвращения Электрическая перекоса валка. система управления синхронизирует противоположные направления движения нижнего и верхнего валков.

3.1.2.2.3. Системы технологического управления для регулирование манипуляторных направляющих

Манипуляторные направляющие служат для центрирования листа перед входом в раствор валков и для направления движения листа внутри клети.

Регулирование положения манипуляторных направляющих осуществляется посредством гидроцилиндров и сервоклапанов. Положение регулируется непрерывно в зависимости от ширины материала.

Перед тем, как лист войдет в клеть, манипуляторные направляющие устанавливаются по ширине листа с учетом определенного смещения.

Кроме автоматического режима работы манилуляторных направляющих, предусматривается ручной режим, при котором оператор в любое время может корректировать их работу.

3.2 Контрольные вопросы

- 1 По какому принципу строится структура АСУ ТП прокатного стана?
- 2 Назвать основные элементы структуры АСУ ТП прокатного стана.
- 3 Перечислить основные функциональные задачи АСУ ТП и их назначение.
 - 4 Назвать режимы работы АСУ ТП.
- 5 Перечислить основные задачи АСУ ТП второго уровня ТЛС 5000 OAO «ММК».
 - 6 Каково назначение систем автоматизации первого уровня?
- 7 Какие способы регулирования толщины полосы применяются на стане?
- 8 Какие способы регулирования профиля и плоскостности применяются на стане?

4 ЭЛЕМЕНТЫ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ И МИКРОПРОЦЕССОРНОЙ ТЕХНИКИ, ИХ ПРИМЕНЕНИЕ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССА ОМД

Элементы автоматики чрезвычайно разнообразны по выполняемым функциям, конструкции, принципу действия, характеристикам, физической природе преобразуемых сигналов и т.д [8].

1) В зависимости от того, как элементы получают энергию, необходимую для преобразования входных сигналов, они делятся на пассивные и активные.

Пассивные элементы автоматики — это элементы, у которых входное воздействие (сигнал $x_{вх}$) преобразуется в выходное воздействие (сигнал $x_{вых}$) за счёт энергии входного сигнала (например, редуктор).

Активные элементы автоматики для преобразования входного сигнала используют энергию от вспомогательного источника (например, двигатель, усилитель).

- 2) В зависимости от энергии на входе и выходе элементы автоматики подразделяются на:
 - электрические;
 - гидравлические;
 - пневматические:
 - механические;
 - комбинированные.
- 3) По выполняемым функциям в системах регулирования и управления элементы автоматики подразделяются на:
 - датчики;
 - усилители;
 - исполнительные устройства;
 - реле;
 - вычислительные элементы;
 - согласующие элементы;
 - вспомогательные элементы и т.д.

 $\begin{subarray}{ll} ${\it Датички}$ воспринимают поступающую на их вход информацию об управляемой величине объекта управления и преобразуют её в форму, удобную для дальнейшего использования в устройстве автоматического управления. Большинство датчиков преобразует входной неэлектрический сигнал <math>x_{\rm BX}$ в выходной электрический сигнал $x_{\rm BMX}$. В зависимости от вида входного неэлектрического сигнала $x_{\rm RX}$ выделяют:

- датчики механических величин (датчики перемещения, датчики скорости, датчики ускорения и т.д.);
 - датчики тепловых величин (датчики температуры);
 - датчики оптических величин (датчики излучения) и т.д.

 $\it Усилители$ - это элементы автоматики, которые осуществляют количественное преобразование, усиление мощности входного сигнала $\it X_{\rm BX}$.

В зависимости от вида энергии, получаемой усилителем, последние делятся на:

- электрические;
- гидравлические;
- пневматические:
- электрогидравлические;
- электропневматические.

Исполнительные устройства относятся к элементам автоматики, создающим управляющие воздействия на объект управления. Они изменяют состояние или положение регулирующего органа объекта таким образом, чтобы регулируемый параметр соответствовал заданному значению. К исполнительным устройствам, создающим управляющее воздействие в виде силы или вращающего момента, относятся силовые электромагниты, электромагнитные муфты, двигатели.

Pеле — это элементы автоматики, у которых изменение выходного сигнала ($x_{вых}$) происходит дискретно (т.е. скачкообразно) при достижении входным сигналом ($x_{вx}$) определённого значения, вызывающего срабатывание реле.

Вычислительные элементы в устройствах автоматического управления осуществляют математические преобразования с поступающими на их вход сигналами.

Согласующие и вспомогательные элементы включаются в устройство автоматического управления для улучшения его параметров, расширения функциональных возможностей основных элементов и т.д.

В системах автоматического управления, в которых качестве вычислительного элемента используется микропроцессор или ЭВМ, часто возникает необходимость согласования ЭВМ с датчиками информации и исполнительными элементами аналогового типа, широко применяемыми в автоматике. Для этой цели на входе ЭВМ устанавливаются аналого-цифровые преобразователи (АЦП). Аналогоцифровые преобразователи преобразуют электрический сигнал (напряжения, силы тока, сопротивления и т.д.), получаемый от

аналоговых датчиков, в дискретный кодовый сигнал, способный восприниматься ЭВМ.

Вспомогательные элементы автоматики — это стабилизаторы напряжения или тока, коммутаторы и распределители, генераторы напряжения специальной формы («пила»), формирователи импульсов, индикаторные и регистрирующие приборы, сигнальные и защитные устройства.

Эти элементы автоматики, не являясь принципиально необходимыми для работы устройства автоматического управления, в то же время позволяют увеличить точность и стабильность его работы, облегчают наладку и эксплуатацию, расширяют возможности использования этого устройства при создании САУ.

4.1 Контрольные вопросы

- 1 Что такое пассивные и активные элементы автоматики?
- 2 Что такое датчики? Назвать виды.
- 3 Что такое усилители? Назвать виды.
- 4 Что такое реле?
- 5 Перечислить вспомогательные элементы автоматики и их назначение.

5 ПРИБОРЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ ПРОЦЕССОВ И КАЧЕСТВА ПРОДУКЦИИ.

Условия работы установок и приборов для измерения силовых парметров при прокатке, как правило, тяжелые. Измерению подлежат большие величины давления металла на валки до 20—30 Мн (2000—3000 Т); величина крутящих моментов может достигать до 5 Мн*м (500 Т'*м). Измерения часто приходится проводить в условиях высоких температур, большой запыленности и влажности. Работа прокатного оборудования сопровождается большими вибрациями. Нагрузки во многих случаях переменные с продолжительностью импульсов до 0,1 сек и меньше. Определенные трудности при измерении силовых параметров обусловлены также большим разнообразием прокатного оборудования и сортаментом прокатных станов, что требует большого количества различных установок и приборов.

Кроме специфических трудностей, обусловленных условиями прокатного производства, существуют трудности общего порядка, связанные вообще с измерением сил. Эти трудности заключаются в том, что до сих пор нет прямых методов измерения сил. Поэтому во всех случаях производится преобразование сил в другую величину, методы измерения которой известны. На практике чаще всего усилия и моменты преобразуют упругую деформацию какого-либо элемента. воспринимающего силовой параметр. О величине силового параметра судят либо по линейному перемещению (абсолютная деформация), либо по изменению напряженного состояния этого элемента. При этом линейное перемешение или изменение напряженного состояния меняются пропорционально приложенной силе и находятся с ней в определенной зависимости, известной по теоретическим или экспериментальным данным. В большинстве случаев для этого используют упругую область, где связь усилий с линейным перемещением определяется прямолинейной зависимостью.

Методы измерения линейных перемещений, даже если они имеют малую величину, не представляют больших трудностей и довольно хорошо разработаны. Известны, например, механические тензометры, дающие увеличение перемещений при деформации в десятки тысяч раз и позволяющие измерять линейные перемещения порядка долей микрона. Однако при измерении силовых параметров прокатных станов известные прямые методы измерения линейных перемещений не могут быть использованы в связи с кратковременностью действия измеряемых нагрузок и необходимостью передачи сигнала, пропорционального силовому параметру, на пульт управления станом или в блоки системы автоматического регулирования. Поэтому при измерении силовых

параметров при прокатке малые линейные перемещения преобразуют в величину, которую легко усилить и измерить или записать электрическими методами. Зарегистрировать изменение напряженного состояния можно электрическими методами, для чего изменение напряженного состояния преобразуют в изменение магнитного потока, что в свою очередь приводит к изменению силы тока или напряжения.

Таким образом, схема силоизмерительной установки представляет собой ряд последовательно соединенных преобразователей [4].

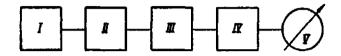


Рис. 5.1. Схема силоизмерительной установки: I—1-й преобразователь (упругий элемент); II— 2-й преобразователь (датчик); III— 3-й преобразователь; IV— усилитель; V— указатель (индикатор)

Первый преобразователь — преобразователь механической силы в упругую деформацию называют упругим элементом и он служит для восприятия силового параметра и преобразования его в линейное перемещение или изменение напряженного состояния. По своему назначению он полностью отвечает определению датчика, поэтому в литературе его часто называют датчиком, чувствительным элементом, приемником или первичным преобразователем.

Второй преобразователь — преобразователь линейного перемещения или изменения напряженного состояния в какую-либо электрическую величину также полностью отвечает определению датчика. В отличие от первого преобразователя в дальнейшем будем называть его датчиком. Силоизмерительные установки получают название обычно по принципу действия второго преобразователя.

Третий преобразователь служит для преобразования изменения емкости, индуктивности, омического сопротивления, магнитного потока и других электрических параметров в изменение силы тока или напряжения, которые уже можно непосредственно усилить и измерить.

Для количественного увеличения (усиления) изменения силы тока или напряжения, если они малы, применяется усилитель. Для отсчета полученных результатов используют указатели или индикаторы.

С точки зрения целей измерения все силоизмерительные устройства можно разделить на две группы:

• устройства, используемые кратковременно или периодически только в период исследования энергосиловых параметров процесса

прокатки при опробовании новых технологических схем или нового оборудования;

• устройства, находящиеся в непрерывной эксплуатации на стане.

5.1 Измерение энергосиловых параметров

5.1.1. Измерение давления металла на валки

Существующие методы измерения давления металла на валки можно разделить на две группы:

- по измерению упругой деформации какой-либо детали рабочей клети с последующим пересчетом величины этой деформации на величину давления металла на валки;
- по непосредственному измерению давления металла на валки с помощью месдоз.

Месдозой называют прибор, предназначенный для определения силы по величине деформации или изменению напряженного состояния упругого элемента.

5.1.1.1. Определение давления металла на валки на основе измерения деформаций в деталях рабочей клети.

При продольной прокатке без натяжения равнодействующая давления металла на валки направлена практически вертикально. Поэтому возникающее при прокатке усилие в одинаковой мере действует на нижний и верхний валки и через шейки этих валков на подушки клети. Далее давление металла на валки передается на нажимные винты и через нажимные гайки на станины рабочей клети [4].

Если измерить абсолютную деформацию Δl какой-либо детали рабочей клети, то, зная величину базы l, усилие P, передаваемое через эту деталь, можно определить по закону Γ ука:

$$P = \frac{\Delta l}{l} EF$$

Здесь F— площадь поперечного сечения детали;

Е—модуль упругости материала детали.

На практике обычно используют станины рабочих клетей. Стойку станины рабочей клети подвергают при прокатке совместному действию растяжения и изгиба. Максимальные деформации возникают на внутренних поверхностях стоек:

$$\Delta l_{\text{внут}} = \frac{l}{E} \left(\frac{P}{F} + \frac{M}{W_{\text{CT}}} \right)$$

На наружной поверхности стоек деформация равна:

$$\Delta l_{\text{Hap}} = \frac{l}{E} \left(\frac{P}{F} - \frac{M}{W_{CT}} \right)$$

А усилие, действующее на стойку станины, определяют по следующему выражению:

$$P = \frac{F_{\rm cr} E}{2l} \left(\Delta l_{\rm BHYT} + \Delta l_{\rm hap} \right)$$

Для измерения деформации стоек станины применяют стержневые тензометры, которые устанавливают строго по центральной линии станины.

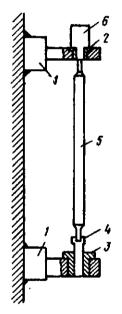


Рис. 5.2. Стержневой тензометр: 1 - кронштейны; 2 и 3 - втулки; 4 - пята; 5 - стержень тензометра; 6 – датчик

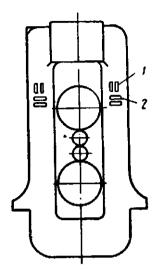


Рис. 5.3. Схема наклейки датчиков на стойки станины: 1 - рабочие; 2 - компенсационные

К стойке станины, в которой установлены втулки, приварены два кронштейна. В нижнюю втулку ввертывают пяту, на которую опирается стержень тензометра. Верхний конец стержня тензометра соприкасается с датчиком, который устанавливают в верхней втулке. При прокатке под действием давления металла на валки станина растягивается и верхний конец стержня перемещается относительно втулки на величину Δl , что регистрируется с помощью датчиков [1].

Для получения наибольшего сигнала выгодно наклеивать тензодатчики там, где возникает максимальная деформация, т. е. на внутренней стороне стойки станины.

Метод определения давления металла на валки по упругой деформации станины имеет следующие недостатки:

- для установки тензометров или наклейки, а также сушки тензодатчиков требуется длительная остановка стана;
- для установки тарировочного гидравлического пресса и на процесс тарировки требуется много времени;
- малая величина сигнала, связанная с обычно малыми деформациями стоек станины, вызывает необходимость работы с высокочувствительными шлейфами и с усилителями.

5.1.1.2. Измерение давления металла на валки при помощи месдоз

Месдоза любой конструкции состоит из трех основных частей: упругого элемента, преобразователя упругой деформации или изменения напряженного состояния в изменение какой-либо электрической величины (датчик или второй преобразователь), и вспомогательных элементов. Вспомогательные элементы служат для установки и закрепления месдозы, для передачи усилия к упругому элементу, для вывода проводов, для охлаждения и герметизации месдоз [1].

Для измерения давления металла на валки месдозы помещают в зону действия измеряемых сил. Наиболее удобное место для расположения месдоз — это пространство между верхней подушкой и нажимным винтом. Месдозу можно также установить между нижней подушкой и станиной рабочей клети.

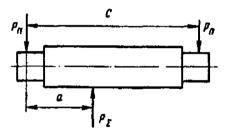


Рис 5.4. Схема сил, действующих на валок

Полное давление металла на валки (рис. 5.4) подсчитывают в этом случае по формулам:

$$P_{\Sigma} = \frac{\mathrm{c}}{\mathrm{a}} \, \mathrm{P}_n$$

или

$$P_{\Sigma} = \frac{c}{c - a} P_{\Lambda}$$

Полное давление металла на валки находят суммированием показаний месдоз:

$$P_{\Sigma} = P_{\Pi} + P_{\Lambda}$$

К конструкции месдоз предъявляются следующие основные требования:

- она должна быть достаточно прочной и иметь минимальное число деталей и соединений;
- электрическая часть месдозы должна быть надежно защищена от воздействия влаги, масла и т. д.;
- месдоза должна быть наиболее чувствительна к измеряемой нагрузке и иметь линейную градуировочную характеристику;
- показания не должны зависеть от неточной ее установки: перекосов, эксцентричного приложения нагрузки, т. е. от перераспределения нагрузки по контактным площадкам;
- месдоза не должна быть чувствительна к градиенту температуры по объему.

В зависимости от применяемого датчика различают месдозы: емкостные, индуктивные, магнитоупругие, гидравлические, с датчиками омического сопротивления и др [4].

По форме упругого элемента различают месдозы с цилиндрическими, балочными, мембранными, прямоугольными, кольцевыми, шаровыми, тороидными и другими упругими элементами.

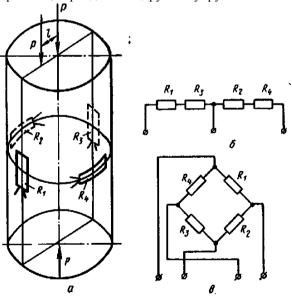


Рис. 5.5. Цилиндрический упругий элемент (a) и схемы соединения тензодатчиков в полумост (б) и мост (в)

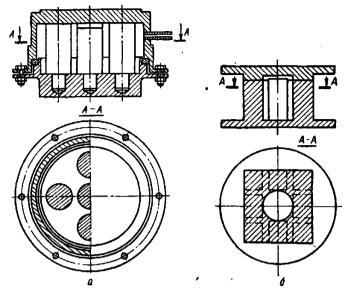


Рис. 5.6. Многостержневые месдозы конструкции М. А. Беняковского и М. Я. Бровмана:

 ${
m a}$ - ${
m c}$ упругими элементами, выполненными отдельно от основания; ${
m f}$ - ${
m c}$ упругими элементами, выполненными заодно ${
m c}$ основанием

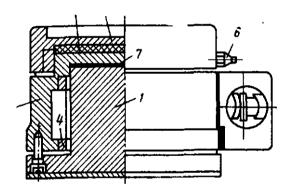


Рис. 5.7. Месдоза с цилиндрическим упругим элементом: 1 - упругий элемент; 2 - кожух; 3 - подпятник; 4 - кольцо из фосфористой бронзы; 5 - прокладка между подпятником и кожухом; 6 - ниппель; 7 - прокладка между кожухом и упругим элементом

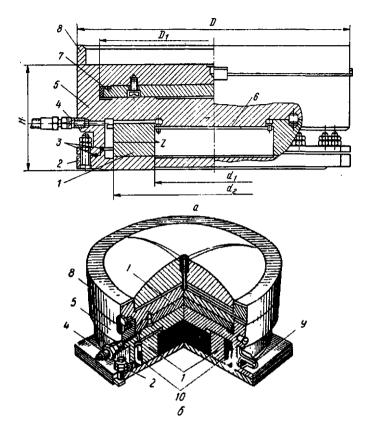


Рис. 5.8. Конструкция универсальных месдоз типа МУ (a) и МУО (б):

1 - упругий элемент; 2 - основание; 3 - уплотнения; 4 - наконечник для вывода проводов; 5 - корпус; 6 - токосъемник; 7 - прижим; 8 - плунжер; 9 - наконечник для подвода воды; 10 - фольговые тензодатчики

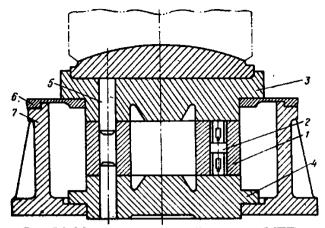


Рис. 5.9. Месдозы повышенной точности (МПТ):

1 - упругий элемент; 2 - тензометрический столбик; 3 - верхняя опорная плита; 4 - нижняя опорная плита; 5 - штифт; 6 - мембрана; 7- корпус

5.1.2. Измерение крутящего момента при прокатке

Крутящий момент является наряду с давлением металла на валки одним из основных параметров, знание которого необходимо при проектировании и эксплуатации прокатных станов. Величина крутящего момента при прокатке определяет степень нагрузки электродвигателя, а также контактные и внутренние напряжения в таких деталях и узлах, как соединительные шпиндели, муфты, редукторы и т. д.

Методы определения крутящего момента могут быть косвенные и прямые. К косвенным методам относятся методы измерения момента по измерению мощности и скорости вращения электродвигателя и по измерению давления металла на валки.

5.1.2.1. Измерение крутящего момента по измерению мощности и скорости вращения электродвигателя и давлению металла на валки

Крутящий момент на его валу может быть определен по следующей формуле [4]:

$$M_{AB} = 0.975 \frac{N}{n}$$

где N — мощность двигателя, кBт n — скорость вращения электродвигателя, об/мин $M_{\rm дв}$ является суммой следующих моментов:

$$\mathbf{M}_{\mathrm{дB}} = M_{np} \pm \mathbf{M}_{\mathrm{\mathcal{I}}} + \mathbf{M}_{\mathrm{x} \cdot \mathrm{x}} + M_{mp}$$
,

Отсюда

$$M_{
m np} = M_{
m ДB} \pm M_{
m \ J} - M_{
m x \cdot x} - M_{
m rp}.$$
 $M_{
m дB} = rac{G D_{
m np}^2}{375} rac{dn}{dt}$

где $GD_{\rm np}^2$ —приведенный к валу двигателя маховой момент;

 $\frac{dn}{dt}$ - угловое ускорение, об/мин*сек.

Момент холостого хода $M_{x.x}$. определяют специальным измерением мощности $N_{x.x}$ и скорости холостого хода

$$M_{x.x.} = 0.975 \frac{N_{x.x.}}{n_{x.x.}}$$

Момент трения равен

$$M_{mp} = \frac{Pd_{\mu}}{i\eta} + \left(\frac{1}{\eta} - 1\right) \frac{M_{np}}{i},$$

где Р — давление металла на валки;

d—диаметр круга трения;

μ — коэффициент трения в подшипниках валков;

i — передаточное число передачи от двигателя к валкам;

 η — коэффициент полезного действия передачи двигатель— клеть.

5.1.2.2. Непосредственное измерение крутящих моментов

Прямое (непосредственное) измерение крутящих моментов производят помощью специальных устройств, называемых крутильными динамометрами. Для определения момента прокатки крутильные динамометры следует разместить непосредственно на бочке валка. Однако на промышленных станах это выполнить практически нельзя из-за соприкосновения валков с прокатываемым металлом. В связи с этим крутильные динамометры размещают на шпинделях, а момент прокатки подсчитывают по следующей формуле:

$$M_{\text{пp}} = M_{\text{\tiny B}} + M_{\text{\tiny H}}$$
 - $M_{\text{\tiny Tp}}$ - $2 M_{\text{\tiny X.X.,}}$

где $M_{\scriptscriptstyle B}$ и $M_{\scriptscriptstyle H}$ —крутящие моменты, измеренные на верхнем и нижнем шпинделях;

M_{тр} — момент трения в подшипниках;

 $M_{x,x}$ —момент холостого хода, измеренный на шпинделе при холостом ходе.

Крутильные динамометры известны трех видов. К первому виду относятся крутильные динамометры, основанные на измерении упругой деформации вала, возникающей под действием приложенного момента.

Ко второму виду относятся крутильные динамометры, основанные на измерении величины тангенциального усилия, возникающего при приложении крутящего момента.

К третьему виду относятся крутильные динамометры, основанные на эффекте изменения магнитных свойств (магнитная проницаемость) вала или другого передающего крутящий момент звена под действием механических напряжений.

5.1.3. Измерение натяжения

Натяжение и подпор оказывают большое влияние на остальные параметры прокатки: давление металла на валки, крутящий момент, расход энергии, опережение, размеры полосы и т. д.

Существующие методы измерения натяжения (подпора) можно разделить на два основных вида: прямые и косвенные.

Прямые методы измерения натяжения основаны либо измерении усилий, действующих непосредственно на прокатываемый металл, либо на измерении усилий, передаваемых от прокатываемой полосы на специальные измерительные ролики или рабочую клеть прокатного стана. Косвенные методы измерения натяжения — на зависимости межлу. натяжением И другими величинами. рактеризующими процесс прокатки (опережением, давлением металла на валки, моментом прокатки и др.).

5.1.3.1. Измерение натяжения со смещением полосы с оси прокатки

Данный метод заключается в том, что между рабочими клетями или между клетью и моталкой устанавливают ролик. При подъеме ролика полоса выводится с оси прокатки. Если прокатка ведется с натяжением, то на ролик со стороны полосы будет действовать сила, измерив которую можно определить натяжение в полосе.

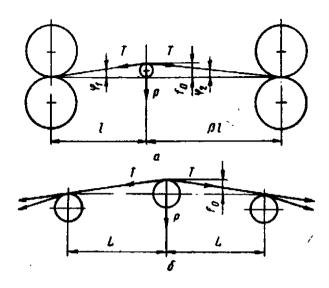


Рис. 5.10. Схема однороликового (a) и трехроликового (б) измерителя натяжения

5.1.3.2. Измерение натяжения и подпора без смещения полосы с оси прокатки

Натяжение (подпор) может быть определено измерением горизонтальных сил, действующих на станины рабочих клетей со стороны прокатываемого металла. Для этого рабочие клети устанавливают либо на шарниры, либо на специальные катки (рис. 5.11, а, б). От поворота или перемещения рабочая клеть удерживается двумя месдозами, которые и воспринимают усилие натяжения (подпора).

Недостаток данного метода заключается в чрезмерном усложнении рабочей клети и необходимости защиты подшипников от попадания воды, масла, окалины и т. д.

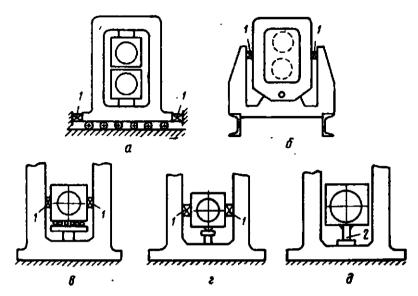


Рис. 5.11. Схемы измерения натяжения (подпора) измерением горизонтальных усилий, передаваемых рабочей клети прокатного стана от прокатываемого металла:

- а с подвижной рабочей клетью; б с рабочей клетью, установленной на шарнире; в с подвижной подушкой, расположенной на роликах;
- г с подвижной подушкой, расположенной на шарнире; д с подвижной подушкой, расположенной на упругом стержне

(1 - месдозы; 2 - упругий элемент)

Более перспективным является определение натяжения (подпора) путем измерения горизонтальных усилий, действующих на клеть, установленную на упругом основании. Прокатная клеть установлена иа раме, имеющей стойки повышенной податливости в направлении измеряемого усилия. На верхней поперечине, жесткость которой значительно выше жесткости стоек, находится датчик, связанный упругими шарнирами с неподвижными стойками.

Горизонтальное усилие, действующее на клеть, деформирует упругие стойки рамы, в результате происходит перемещение клети. При перемещении клети мембрана изгибается и изменяется омическое сопротивление тензодатчиков.

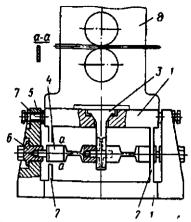


Рис. 5.12. Схема установки клети на упругое основание:

1 - рама; 2 - вертикальные стойки, обладающие повышенной податливостью в направлении измерения усилий; 3 - датчик малых перемещений; 4 - упругие шарниры; 5 - неподвижные стойки; 6 - дифференциальный резьбовой механизм; 7 - предохранительные болты; 8 - прокатная клеть

5.2 Измерение геометрических размеров проката

Измерение геометрических размеров проката производят для контроля размеров и учета количества проката перед сдачей готовой продукции на склад; для выявления нарушений технологического режима с целью ручной или автоматической настройки прокатных станов; для использования автоматизированных систем отделки прокатных изделий.

В большинстве случаев приборы для измерения геометрических размеров проката являются узкоспециализированными, предназначенными для измерения, как правило, только одного какогонибудь параметра: толщины листа, ширины листа, диаметра труб, длины прокатанных изделий, толщины покрытий и т.д.

5.2.1. Приборы для измерения толщины проката, покрытий и стенки трубы

Толщину проката в прокатном производстве измеряют двумя методами: прямым и косвенным.

При прямом методе измерения толщина изделия (или отклонение толщины от заданной) с помощью датчиков непосредственно преобразуется в электрическую величину, по которой и судят о толщине проката. При косвенном методе измерения о толщине проката судят по

тем параметрам процесса прокатки, которые связаны функциональной зависимостью с толщиной прокатываемого металла. Наиболее просто толщину прокатываемых листов таким методом можно определить по лавлению металла на валки.

$$h = \frac{P}{k} + S_0,$$

где Р – давление металла на валки;

k – коэффициент, характеризующий упругие свойства стана;

 S_0 – раствор валков.

Данный метод имеет и ряд недостатков: не учитывается изменение диаметра валков, что может произойти вследствие их износа, толщина масляной пленки между валками и прокатываемым металлом и ряд др.

Приборы, основанные на прямом методе измерения, можно разделить на контактные и бесконтактные. В приборах контактного типа измерения производят при соприкосновении измерительных элементов (или преобразователей) с поверхностью проката.

Недостатки приборов контактного типа следующие:

- они не обеспечивают достаточной точности при большой скорости прокатки (>10 м/сек);
 - толщина измеряется только в одном месте (обычно с края листа);
- при длительной работе наблюдается большой износ роликов, в связи с чем требуются частые поверки;
 - не исключена возможность порчи поверхности проката;
 - не учитывается тепловая деформация роликов.

В последнее время для измерения толщины прокатываемых изделий широкое применение нашли бесконтактные приборы, в которых измерение производится без соприкосновения измерительных элементов с поверхностью изделия.

Бесконтактные толщиномеры по принципу действия можно разделить на следующие группы:

- приборы, основанные на измерении степени поглощения электромагнитного излучения или потока β-частиц;
 - электромагнитные;
 - пневматические;
 - ультразвуковые.

5.2.1.1. Толщиномеры, основанные на измерении степени поглощения электромагнитного излучения или потока β-частии

Используются два вида электромагнитного излучения: рентгеновские и γ -лучи. В качестве источников рентгеновского излучения применяют рентгеновские трубки и бетатроны, а в качестве источников γ и β -излучения — в основном искусственные радиоактивные изотопы [2].

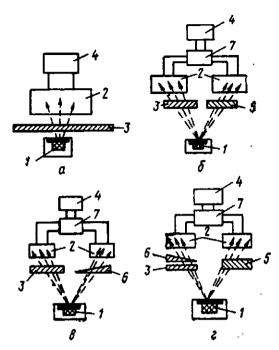
Действие приемников излучения основано на различных видах взаимодействия с веществом. В большинстве приемников излучения ионизация, создаваемая при используется В них прохождении заряженных частиц. Сюда относятся ионизационные камеры, газоразрядные счетчики и сцинтилляционные счетчики.

Измерение толщины листа, основанное на измерении ослабления интенсивности излучения при прохождении через контролируемый лист, можно осуществить тремя методами: абсолютным (прямым) методом, методом сравнения (дифференциальным методом) и методом компенсации (рис. 5.13).

Абсолютный метод (рис. 5.13, а). При абсолютном методе мерой толщины полосы является абсолютное значение интенсивности излучения, измеренной после прохождения через контролируемый лист. Точность измерений поэтому методу зависит от стабильности параметров источников излучения и погрешностей приемников излучения.

Метод сравнения (рис. 5.13, б). При измерении толщины полосы методом сравнения величину остаточного излучения после прохождения через контролируемый лист сравнивают с величиной остаточного излучения после прохождения через эталонный образец. Поток излучения в этом случае делится на две части, одна из которых облучает образец, другая — измеряемую полосу. Разность сигналов двух приемников воздействует на одно показывающее устройство. При измерении по этому методу не требуется высокой стабилизации параметров источника излучения, точность измерения повышается.

Метод компенсации. В этом случае остаточное излуение, прошедшее через полосу и эталонный образец, уравнивается при помощи компенсирующего клина.



1 - источник излучения; 2 - приемник; 3 -объект контроля; 4 - показывающий прибор; 5 - эталон; 6 - клин; 7 - блок сравнения

Рис. 5.13. Измерение толщины листа различными методами (а - абсолютный; б - метод сравнения; в - компенсационный; г - то же, с применением эталона), основанными на ослаблении интенсивности излучения при прохождении через контролируемый объект

5.2.1.2. Электромагнитные измерители толщины листов и покрытий

Принцип действия электромагнитных измерителей толщины листов и покрытий основан на прямом или косвенном измерении магнитного потока, изменяющегося с изменением толщины листа или покрытия. Для измерения толщины листов и покрытий применяют три основных электромагнитных метода [4].

Первый метод основан на измерении силы притяжения постоянного магнита или электромагнита к исследуемому объекту. Эта сила определяется при отрыве магнита от объекта.

Второй метод измерения толщины листов и покрытий основан на изменении сопротивления магнитной цепи, составленной из листа и сердечника электромагнита.

Наибольшее распространение получил третий метод— метод вихревых токов (или метод электромагнитной индукции). Этот метод заключается в следующем: испытуемый объект помещают в магнитное поле катушки или в катушки, питаемые переменным током (рис. 5.14.). Переменное магнитное поле индуктирует в испытуемом объекте вихревые токи, которые в свою очередь создают собственное магнитное поле, направленное против основного магнитного поля. В результате взаимодействия этих магнитных полей электрические параметры катушки изменяются. Величина вихревых токов и их магнитного поля при всех прочих равных условиях зависит от свойств испытуемого объекта. Поэтому с изменением этих свойств будут изменяться и электрические параметры катушки.

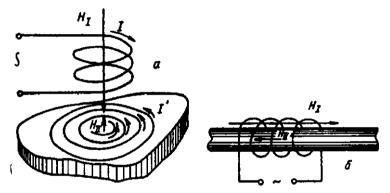


Рис. 5.14. Взаимное расположение катушки и испытуемого объекта:

а — катушка расположена над поверхностью испытуемого объекта (накладная катушка); б — испытуемый объект расположен внутри катушки (проходная катушка); $H_{\rm I}$ — первичное магнитное поле катушки в отсутствии испытуемого объекта; $H_{\rm II}$ — вторичное магнитное поле, созданное вихревыми токами в испытуемом объекте

5.2.1.3. Пневматические измерители толщины листов

Принцип действия этих датчиков основан на зависимости между расходом сжатого газа и площадью проходного сечения отверстия (рис. 5.15.).

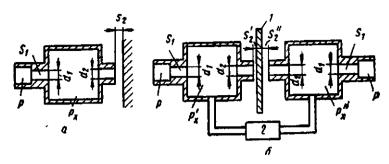


Рис. 5.15. Схема пневматического датчика: а — прямой метод измерения; б — дифференциальный метод измерения (1— объект контроля; 2 — дифференциальный манометр)

5.2.2. Приборы для измерения ширины листа и диметра проволоки

С связи с большими скоростями прокатки листов (до 35 м/сек) и проволоки (до 45 м/сек) для измерения ширины листов и диаметра проволоки применяют в основном фотоэлектрические бесконтактные методы измерения, которые можно разделить на три группы: фотокомпенсационные, фотоследящие и фотоимпульсные.

5.2.2.1. Приборы, основанные на фотокомпенсаионном методе измерения

При фотокомпенсационном методе измерения сравниваются два световых потока, один из которых частично перекрывается измеряемым изделием, а другой — подвижной заслонкой, положение которой при равенстве потоков, определяет размер изделия.

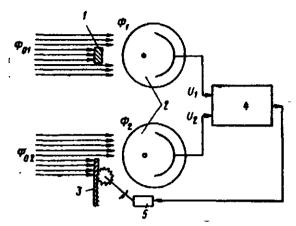


Рис. 5.16. Принципиальная схема измерения ширины проката по фотокомпенсационвому методу:

1 — измеряемое изделие; 2— фотоэлементы; 3 — подвижная заслонка; 4—усилитель разности; 5 — реверсивный двигатель

Световой поток Φ_{01} перекрывается измеряемым телом, а световой поток Φ_{02} — заслонкой. Световые потоки Φ_1 и Φ_2 , падающие на фотоэлементы, сравниваются и на выходе усилителя разности появляется напряжение, пропорциональное разности световых потоков Φ_1 и Φ_2 Реверсивный двигатель на выходе усилителя в зависимости от знака напряжения соответственно перемещает заслонку, уменьшая или увеличивая поток Φ_2 до полной компенсации потока Φ_1 . В момент равенства потоков двигатель останавливается, а положение заслонки определяет размер изделия.

Для реализации данной схемы и удовлетворительной ее работы необходимо выполнение определенных требований, главные из которых следующие: 1) однородность световых потоков Φ_{01} и Φ_{02} ; 2) линейная связь потоков Φ_{01} и Φ_{02} ; 3) независимость результатов измерений от характеристик отдельных фотоэлементов.

Если световой поток Φ_{01} неоднороден, то остаточный поток Φ_{1} зависит от положения изделия, что приводит к погрешностям измерения. Для уменьшения этой погрешности применяют параболические отражатели и конденсоры, а также объективы, избирающие при помощи диафрагм у общего потока лучи, близкие к параллельным. То же самое относится и к потоку Φ_{02} , неоднородность которого позволяет получить линейную шкалу прибора.

Состояние баланса в схеме не нарушается, если яркости обоих световых потоков Φ_{01} и Φ_{02} уменьшаются пропорционально.

Пропорциональность их изменения достигается тем, что оба потока исходят из одного источника света, в качестве которого обычно используют лампу накаливания.

В схеме, приведенной на рис. 5.16, сравниваются два постоянных напряжения U₁ и U₂, каждое из которых при неизменном световом потоке зависит от темнового тока, чувствительности и сопротивления нагрузки соответствующего фотоэлемента. Изменение этих величин приводит к погрешностям измерения. Для устранения этих погрешностей используют один фотоэлемент, некоторый с помощью обтюратора поочередно с определенной частотой направляют оба потока Φ_1 и Φ_2 . При неравенстве потоков в нагрузке фотоэлемента возникает переменное напряжение. Амплитуда этого напряжения пропорциональна разности потоков Φ_1 и Φ_2 , а фаза соответствует знаку неравенства. Кроме того, в этом случае может быть применен усилитель низкой частоты, что дрейфа сравнивающего усилителя. исключает погрешности из-за Послелний работает постоянном токе на схеме двумя фотоэлементами.

5.2.2.2. Приборы, основанные на фотоследящем методе измерения

При фотоследящем методе измерения ширины проката размер изделия устанавливается по положению кромок листа относительно фиксированной оптической оси. Положение каждой кромки определяется бесконтактной фотоследящей системой.

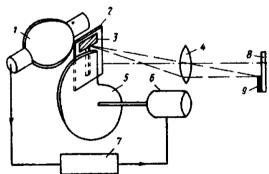


Рис. 5.17. Принципиальная схема прибора для измерения размеров по фотоследящему методу:

1 — фотоэлемент; 2 — щелевая диафрагма; 3 — изображение изделия; 4 — линза; 5—заслонка; 6—двигатель; 7 — усилитель; 8 — осветитель; 9 — изделие

От фотокомпенсационных приборов фотоследящие приборы отличаются главным образом меньшей погрешностью, которая вызвана неравномерностью освещенности.

5.2.2.3. Приборы, основанные на фотоимпульсном методе измерения

Фотоимпульсный (времяимпульсный) метод измерения основан на применении развертки изображения для образования светового импульса, длительность которого определяет размеры изделия.

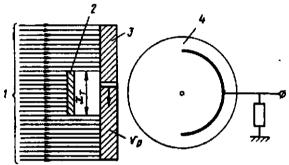


Рис. 5.18. Принципиальная схема фотоимпульсного метода измерения размеров изделия:

1 — световой поток; 2 — изделие; 3 — экран с отверстием; 4 — фотоэлемент

На рис. 5.19 показана оптико-механическая схема прибора конструкции ВНИИметмаш для измерения ширины полосы при горячей прокатке.

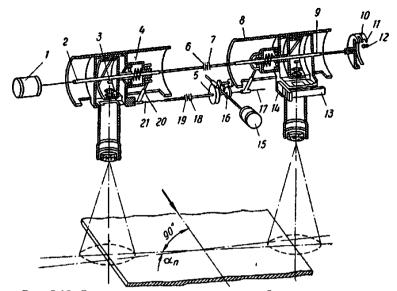


Рис. 5.19. Оптико-механическая схема прибора для измерения ширины полосы при горячей прокатке:

- 1 электродвигатель развертывающих систем; 2, 9— вал с винтовой шпоночной канавкой; 3, 11— фотосопротивления; 4 механизм для выборки люфта; 5 —редуктор привода головок; 6, 19 муфты;
- 8 направляющий стакан; 10 калибратор; 12 лампа подсветки; 13, 14 направляющие механизмы; 15 электродвигатель;
 - 16—механизм провода сельсина-датчика установки головок;
- 17, 21 винты ходовые: правый, левый; 18—муфта точной взаимной установки головок; 20 поводковый механизм

Этот прибор также основан на фотоимпульсном методе измерения, без применения искусственной подсветки, работает так собственное излучение нагретого металла. используется изображения кромок полосы производится с помощью барабана со сквозными винтовыми прорезями. Световой поток при помощи оптики и развертывающей системы попадает на фотосопротивление, сигнал с которого с помощью электронной схемы преобразуется в напряжение, пропорциональное отклонению ширины полосы заданной. Напряжение измеряется стрелочным прибором, шкала которого проградуирована в миллиметрах.

5.2.3. Приборы для измерения длины прокатываемого металла

Приборы для измерения длины проката условно можно классифицировать по трем основным признакам:

- по направлению измерения относительно движения изделия;
- по виду преобразователя, устанавливаемого на линии движения проката;
- по наличию или отсутствию контакта измерителя с измеряемым излелием.

В зависимости от вида преобразователя, устанавливаемого на линии движения проката, измерители длины можно разбить на два больших класса: электромеханические измерители длины (контактные) и фотоимпульсные измерители длины (бесконтактные). Кроме того, к бесконтактным измерителям длины относятся приборы с магнитными и тепловыми метками, а также приборы, основанные на эффекте Доплера.

5.2.3.1. Электромеханические измерители длины

Принцип работы электромеханических измерителей длины заключается в следующем: мерительный цилиндрический ролик, вращаемый на оси, прижимается к изделию и обкатывает его при поступательном движении. С роликом жестко связан импульсатор, который выдает определенное число импульсов на один оборот ролика.

Подсчитав число импульсов m, можно определить длину излелия L:

L = km.

В качестве импульсаторов применяют сельсины, высокочастотные генераторы, а также фотоэлектрические, электромеханические, электромагнитные и другие устройства.

5.2.3.2. Фотоимпульсные измерители длины

Фотоимпульсные измерители длины в зависимости от получаемой информации с фотодатчиков можно разбить на три группы:

- приборы, в которых длину изделия измеряют по времени прохождения изделием какого-либо датчика с учетом средней скорости движения за это время;
 - с прямым счетом импульсов;
 - с применением развертывающих систем.

Фотоимпульсные измерители длины с прямым счетом импульсов. Указанные измерители характеризуются тем, что латчики. **установленные** на линии продольного движения проката. при прохождении мимо них измеряемого изделия выдают в измерительную систему импульсы, равные определенной фиксированной длине.

5.3 Измерение температуры

Температура является важнейшим параметром множества технологических и теплотехнических процессов, характеристикой кинетической энергии молекул и характеризует степень нагретости тела.

Самое широкое распространение получили:

- термометры сопротивления;
- термоэлектрические термометры;
- пирометры излучения.

Пирометры относятся к бесконтактным датчикам температуры. В основу их работы положен принцип использования теплового и светового излучения нагретых тел.

Лучистая энергия выделяется нагретым телом в виде волн различной длины. До 500°С нагретое тело излучает энергию инфракрасного спектра не воспринимаемую человеческим глазом. По энергию мере повышения температуры тело излучает всех воспринимаемых глазом Одновременно c длин. повышением температуры возрастает интенсивность монохроматического излучения (яркость), т.е. излучение при определенной длине волны, а также увеличивается суммарное, т.е. световое и тепловое излучение. Монохроматическое излучение используется в пирометрах частичного излучения, суммарное – в пирометрах полного излучения.

Интенсивность монохроматического и суммарного излучения кроме температуры зависит от физических свойств вещества. Поэтому шкалы приборов работающих в комплекте с пирометрами градуируются по излучению абсолютно черного тела, степень черноты которого $E_0=1$. Реальные физические тела излучают энергию менее интенсивно, т.к. степень черноты для них 0 < E < 1. Поэтому пирометры излучения показывают температуру, заниженную относительно действительного значения. Следовательно, при использовании пирометров вводят соответствующие поправки на степень черноты реального тела.

В общем случае пирометр состоит из первичного датчика, вторичного преобразователя и вторичного измерительного прибора.

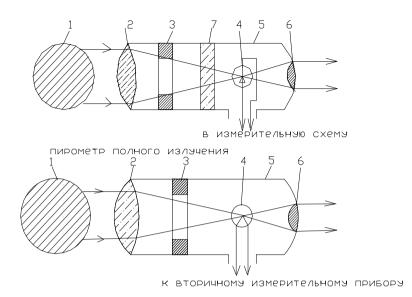


Рис. 5.20. Пирометр частичного и полного излучения

Различные типы пирометров позволяют измерять температуру в интервале $30\text{-}6000^{0}$ С. Кроме степени черноты тела на точность измерения сильно влияет промежуточная среда (пыль, дым, пар и т.п.) между нагретым телом и датчиком.

5.4 Контрольные вопросы

- 1 Назвать элементы силоизмерительных установок и их назначение.
 - 2 Как измеряется давление металла на валки?
 - 3 При помощи каких датчиков измеряется деформация клети?
 - 4 Что такое месдоза и из чего она состоит?
 - 5 Назвать основные виды месдоз.
- 6 С помощью каких методов определяется крутящий момент при прокатке?
 - 7 Из каких компонентов состоит момент прокатки?
 - 8 Виды измерения натяжения.
- 9 Сформулировать принцип измерения натяжения без смещения полосы с оси прокатки.
 - 10 Перечислить способы бесконтактного измерения толщины.

- 11 В чем различия между основными методами измерения ширины?
- 12 Сформулировать принцип работы электромеханического измерителя длины.
 - 13 Назвать основные элементы пирометра.

6 СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЦЕССОВ ОБРАБОТКИ МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ

Управляемые переменные прокатного стана как объекта управления можно подразделить на две группы [9]:

- технологические переменные стана;
- переменные устройств стана.



Рис. 6.1. Структура управляемых переменных прокатного стана

Управление перечисленными переменными реализуют входящие в состав АСУТП локальные системы управления, которые в соответствии с классификацией управляемых переменных стана можно подразделить на системы управления переменными устройствами стана и системы управления технологическими переменными стана.

Системы управления переменными устройствами стана подразделяются на системы управления:

- положением и скоростью устройств;
- силами (моментами) устройств;
- расходами жидкости.

В свою очередь, системы управления технологическими переменными стана можно подразделить на системы управления:

- положением и скоростью перемещения проката;
- геометрическими параметрами прокатываемых полос;
- показателями состояния полос между клетями;
- температурой прокатываемого металла.

К системам автоматического управления геометрией проката относятся системы регулирования размеров поперечного сечения и формы прокатываемых полос.

Системы автоматического управления состоянием проката между клетями включают системы регулирования прогиба полосы и системы регулирования натяжения полосы между клетями при непрерывной прокатке.

Системы автоматического управления температурой прокатываемого металла осуществляют регулирование температуры металла на различных этапах процесса прокатки с целью получения требуемых физико-механических характеристик проката.

Системы позиционного управления обеспечивают автоматическое управление подъемными столами, толкателями, приемниками слябов, направляющими линейками, нажимными устройствами клетей [13].

Основа этих систем - следящий привод, который представляет собой замкнутую активную динамическую систему, управляющую перемещением объекта регулирования.

В измерительном устройстве UV производится сравнение текущего значения регулируемой величины с управляющим воздействием и на основе этого сравнения формируется сигнал ошибки. Информация о текущем значении регулируемой величины поступает в измерительное устройство по каналу обратной связи.

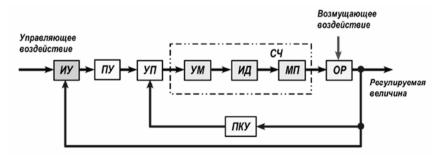


Рис. 6.2. Структурная схема следящего привода

Преобразующее устройство ΠV служит для преобразования сигнала ошибки к виду, удобному для дальнейшего использования. Предварительный усилитель $V\Pi$ предназначен для усиления сигнала по напряжению и мощности до значений, достаточных для усилителем мошности VM.

В этом усилителе производится также сравнение названного сигнала с сигналом, поступающим от параллельного корректирующего устройства $\Pi K V$.

Регулирующее воздействие создается с помощью силовой части CY следящего привода. Силовая часть состоит из усилителя мощности YM исполнительного двигателя YM и механической передачи YM.

6.1 Позиционное управление нажимными устройствами рабочей клети

Основной задачей нажимных устройств является перемещение верхнего рабочего валка в положение, при котором зазор между валками S будет равным некоторому заданному значению S_0 , т.е. обеспечить выполнение условия [9]:

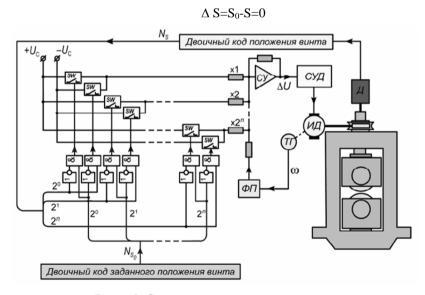


Рис. 6.3. Система позиционного управления нажимными устройствами рабочей клети в цифро-аналоговом исполнении

Нажимные винты приводятся во вращение исполнительным электродвигателем $\mathit{И}\mathcal{I}$. В канале обратной связи используется цифровой датчик \mathcal{I} . Датчик преобразует угол поворота винта в п-разрядный двоичный код Ns . Этот код подается на один из входов цифроаналогового преобразователя. На другие входы подается управляющее воздействие - код Ns_0 заданного положения нажимного винта. Они сравниваются и через суммирующий усилитель CV сигнал рассогласования подается в систему управления двигателем $\mathit{CV}\mathcal{I}$ нажимного механизма и вызывает вращение двигателя, перемещающего нажимные винты $\mathit{для}$ уменьшения рассогласования.

6.2 Система автоматического регулирования натяжения в черновой группе клетей

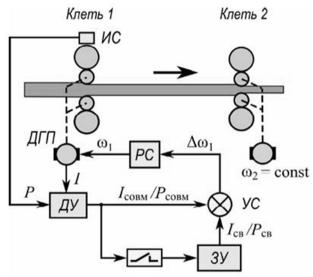


Рис. 6.4. Блок-схема системы регулирования натяжения в непрерывной черновой группе клетей

Величины I и P измеряются соответственно датчиками тока двигателя главного привода $\mathcal{Д}\Gamma\Pi$ и измерителями силы прокатки HC (месдозами).

После входа металла в первую клеть и до его входа во вторую клеть осуществляется свободная (без натяжения) прокатка. За этот промежуток времени измеряется величина тока якоря двигателя главного привода I_{cb} и сила прокатки P_{cb} . Значения этих величин поступают в

делительное устройство $\mathcal{J}V$, где вычисляется отношение I_{cb}/P_{cb} . Вычисленная величина I_{cb}/P_{cb} запоминается в устройстве памяти 3V. После входа металла во вторую клеть эта клеть оказывается связанной с первой клетью через прокатываемый металл, что приводит к возникновению натяжения между этими клетями.

Целью регулирования является минимизация межклетевого натяжения, для чего измеряют значение силы тока $I_{\text{совм}}$ и силы $P_{\text{совм}}$ в первой клети. На делительном устройстве вычисляется отношение $I_{\text{совм}}/P_{\text{совм}}$, после чего оно сравнивается с запомненным ранее отношением $I_{\text{св}}/P_{\text{св}}$ в устройстве сравнения УС. В результате операции сравнения на регулятор скорости первой клети РС подается команда на изменение скорости привода. Задача регулирования скорости - выполнение условия:

$$\left| \frac{I_{c\theta}}{P_{cb}} - \frac{I_{cobm}}{P_{cobm}} \right| \approx 0$$

Таким образом поддерживается минимальное натяжение между первой и второй клетью, близкое к свободной прокатке.

6.3 Системы автоматического регулирования натяжения в чистовой группе клетей

Ширина полосы формируется в основном в черновой группе клетей и затем стабилизируется в чистовой группе за счет функционирования системы автоматического регулирования натяжения (САРН).

В настоящее время САРН широкополосных станов горячей прокатки выполняются на базе [12]:

- гидравлических или пневматических петледержателей;
- статических петледержателей;
- электромеханических петледержателей.

На рис. 6.5. приведена структурная схема системы стабилизации натяжения (ССН), базирующейся на статическом петледержателе. В исходном положении ролик петледержателя находится на уровне линии прокатки.

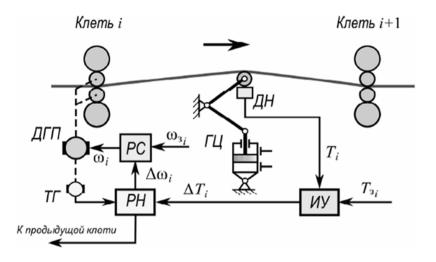


Рис. 6.5. Структурная схема системы стабилизации натяжения со статическими петледержателями и датчиком натяжения

После вхола металла клеть ролик петледержателя устанавливается гидроцилиндром ГЦ в рабочее положение. Измерение действующей на ролик петледержателя силы от натяжения полосы, ее массы и момента изгиба осуществляется датчиками натяжения ДН. Разница ΔT_i между заданным усилием T_{3i} и измеренным T_i вычисляется измерительным устройством ИУ И является регулирующим воздействием, поступающим в регулятор натяжения полосы РН. Регулятор натяжения воздействует на регулятор скорости РС двигателя привода, обеспечивая стабилизацию заданного натяжения за счет корректировки частоты вращения рабочих валков.

6.4 Система автоматического регулирования ширины полосы

В программу управления шириной вводится заданная ширина готовой полосы. Затем происходит предварительный расчет вероятного уширения в чистовой группе.

После определения ширины подката следует рассчитать обжатия по ширине в черновой группе клетей. В результате расчета определяются программы управления шириной и предварительные величины растворов валков для всех вертикальных клетей.

Для определения уширения может быть использована зависимость [11]:

$$\Delta b = C_{\rm B} C_{\rm \sigma} a \left(\sqrt{R \Delta h} - \frac{\Delta h}{2\mu} \right).$$

Прокатка металла в вертикальных валках приводит к появлению значительного утолщения полосы у боковых кромок. При дальнейшей прокатке в горизонтальных валках металл из боковых утолщений течет преимущественно в направлении ширины [12].

С уменьшением толщины прокатываемого металла эффективность обжатия в вертикальных валках снижается.

Системы регулирования ширины полосы с прямым процессорным управлением современных непрерывных широкополосных станов, обеспечивают прокатку со среднеквадратичным отклонением ширины полосы от заданного номинала не более 2 мм.

6.5 Системы автоматического регулирования толщины полосы в чистовой группе клетей

Система автоматического регулирования толщины полосы (CAPT) предназначена для обеспечения минимальной продольной разнотолщинности готовой полосы.

Различают следующие виды САРТ:

- САРТ на основе метода Головина-Симса:
- устранение влияния эксцентриситета валков на толщину полосы;
- САРТ на основе измерения толщины металла в очаге деформации по положению опор прокатных валков.

Рассмотрим САРТ на основе измерения толщины металла в очаге деформации по положению опор прокатных валков.

Для измерения расстояния между опорами валков могут применяться различные типы измерителей и методы измерения, например:

- индуктивные датчики или гидравлические щупы, измеряющие зазор между подушками рабочих валков. Такие измерители размещаются непосредственно в подушках и при перевалке валков демонтируются вместе с подушками;
- датчики давления в гидравлической системе распора рабочих валков. Изменение расстояния между подушками в этом случае измеряется косвенным методом по колебаниям давления в замкнутом объеме жидкости в гидросистеме;

• индуктивные или оптические датчики положения подушек валков, стационарно смонтированные на станине рабочей клети. При перевалке валков такие датчики не требуют демонтажа.

Схема САРТ, в которой использован метод измерения зазора между валками по расстоянию между шейками рабочих валков, приведена на рис. 6.6. Расстояние между шейками валков определяется по величине просвета, через который на фотодатчики измерителя проходят параллельные пучки света от специального осветителя [9].

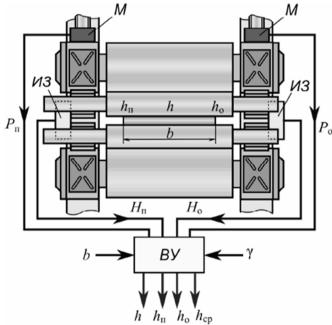


Рис. 6.6. Схема измерения толщины полосы по расстоянию между шейками рабочих валков

Величина зазора между валками зависит как от величины прогиба, так и от начального профиля валков, а вычисление толщины полосы и ее поперечной разнотолщинности необходимо выполнять по показаниям измерителей зазора $\it H3$ между шейками валков и измерителей силы меслоз $\it M$.

Эти вычисления осуществляются с помощью вычислительного устройства BV. Исходной информацией для расчета являются показания измерителей зазоров H_{π} и H_0 , установленных на клети, сигналы месдоз (силы P_{π} и P_0), а также номинальная ширина b прокатываемой полосы и

параметр γ , характеризующий профилировку валков. На основании этих данных ВУ рассчитывает и выдает значения толщины полосы по ее середине и по краям h, h_n , h_0 , а также величину среднего значения h_{cp} .

6.6 Контрольные вопросы

- 1 На какие составляющие можно разделить управляемые переменные прокатного стана?
 - 2 Каково назначение системы позиционного управления?
- 3 Сформулировать принцип позиционного управления нажимными устройствами рабочей клети.
- 4 Основная задача системы автоматического регулирования натяжения в черновой группе клетей?
 - 5 Что такое САРТ, каково ее назначение?

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В заключение сформулируем очень кратко основные принципы автоматизации технологических процессов обработки металлов давлением.

В современном мире усложняется процесс производства, и ручной труд становится неэффективным и ограниченным ввиду человеческих возможностей. И как следствие, на смену ручному труду постепенно приходит автоматизация технологических процессов производства. Автоматизация производства основана на передаче функции контроля и управления автоматическим приборам и устройствам. Это приводит к ускорению производства, увеличению качества выпускаемой продукции, уменьшению ее себестоимости.

Автоматизация производства — это сложная система, включающая машины, транспортные средства, блоки, щиты управления и оборудование, которая согласовывает во времени выполнение всех этапов изготовления изделий.

Под автоматизацией технологического процесса понимают совокупность средств и методов, предназначенных для реализации систем или системы, позволяющей осуществить управление самими технологическими процессами без участия (непосредственного) человека, или же при оставлении за человеком принятия самых ответственных решений.

Как правило, автоматизация технологических процессов приводит к созданию АСУ ТП.

Автоматизированная система управления технологическими процессами может состоять из систем автоматического управления и связанными с ними автоматизированными устройствами. Обычно автоматизированная система управления состоит из пультов управления, средств архивирования и обработки информации, а также датчиков, управляющих и исполнительных устройств (устройств, которые передают воздействия с устройства управления на объект управления). Датчики нужны для преобразования одной величины, такой как, например, температура, расход, давление, скорость в сигнал, например, электрический, пневматический, оптический, что очень удобно для хранения, преобразования, измерения, передачи информации о состоянии объекта.

Автоматизация производства бывает трех видов: комплексная, полная и частичная. Частичная автоматизация подразумевает, что часть функций выполняет человек, а часть технологических процессов автоматизирована. Комплексная производственная автоматизация подразумевает полное управление автоматическими устройствами,

человек только обеспечивает надежность и бесперебойную работу приборов. Зачастую вмешательство человека здесь заключается лишь в ремонте и, изредка, наладке оборудования, а оператор лишь занят мониторингом процесса в условиях офиса, где вредные факторы намного ниже производственных условий.

Полная же автоматизация производства означает полный контроль и управление всем производственным процессом автоматическими средствами.

Таким образом, автоматизация технологических процессов сокращает огромное количество статей затрат предприятия, а также помогает максимально использовать резервы производства.

Так, например, роботы, используемые в промышленности могут работать в менее освещенном помещении, чем люди и при более низких температурах, что значительно сокращает энергозатраты, а также затраты на отопление.

Стоит понимать, что производственная автоматизация в автоматизированном режиме и автоматическом различается. Автоматизированная, всё-таки подразумевает вмешательство человека, автоматическая – нет.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1 Агейкин Д.И., Костина Е.Н., Кузнецова Н.И. Датчики контроля и регулирования. Справочные материалы. Машгиз, 1965.
- 2 Афанасьев В.Н. и др. Радиоизотопные приборы в металлургии. Изд-во «Металлургия», 1966.
- 3 Богачев А.М., Лямбах Р.В. Приборы автоматического контроля размеров проката. Госэнергоиздат, 1962.
- 4 Шевакин Ю.Ф., Рытников А.М., Касаткин Н.И. Технологические измерения и приборы в прокатном производстве. Издво «Металлургия», 1973.
- 5 Воронова А.А. Теория автоматического управления. Часть 1 М.: Высшая школа, 1986.
- 6 Пиргач Н.С., Пиргач В.С. Автоматическое регулирование и регуляторы. 1975.
- 7 Боронихин А.С., Гризак Ю.С. Основы автоматизации производства. М.: Стройиздат, 1981.
- 8 Зайцев Г.Ф. Теория автоматического управления и регулирования. Киев, Высшая школа, 1988.
- 9 А. Восканьянц. Автоматизированное управление процессами прокатки. Учебное пособие. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Москва, 2010.
- 10 Выдрин В.Н., Федосиенко А.С. Автоматизация прокатного производства: Учебник для вузов. М.: Металлургия, 1984. 472 с.
- 11 Целиков А.И., Гришков А.И. Теория прокатки. М.: Металлургия, 1970. 358 с.
- 12 Фомин Г.Г., Дубейковский А.В., Гринчук П.С. Механизация и автоматизация широкополосных станов горячей прокатки. М.: Металлургия, 1979. 232 с.
- 13 Технологические контроллеры для систем управления перемещением и позиционирования http://www.automation-drivers.ru: Официальный сайт департаментов «Промышленная автоматизация» и «Технологии приводов» ООО Сименс. 2014.