

Б.Н.Дралюк
Г.В.Синайский



Р

ЕГУЛЯТОР

ТОЛЩИНЫ ПОЛОСЫ

НА НЕПРЕРЫВНОМ
СТАНЕ
ХОЛОДНОЙ ПРОКАТКИ

МЕТАЛЛУРГИЗДАТ
1961

Б. Н. ДРАЛЮК, Г. В. СИНАЙ

РЕГУЛЯТОР ТОЛЩИНЫ ПОЛОСЫ НА НЕПРЕРЫВНОМ СТАНЕ ХОЛОДНОЙ ПРОКАТКИ

ГОСУДАРСТВЕННОЕ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
ЛИТЕРАТУРЫ ПО ЧЕРНОЙ И ЦВЕТНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ
СВЕРДЛОВСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ
Свердловск 1961

АННОТАЦИЯ

В брошюре рассмотрены вопросы построения системы регулирования толщины прокатываемой полосы на непрерывном стане холодной прокатки. Подробно рассмотрены элементы регулятора толщины полосы на входе непрерывного высокоскоростного стана, анализируется работа этого регулятора на действующем стане.

Брошюра предназначена для инженерно-технических работников, занимающихся разработкой, проектированием и эксплуатацией систем автоматического регулирования технологических параметров производственных процессов.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Семилетним планом развития народного хозяйства на 1959—1965 гг. намечена грандиозная программа развития всех отраслей промышленности. Весьма большое внимание при этом уделяется развитию листопрокатного производства и, в частности, росту выпуска холоднокатаного листа, необходимого для электротехнической, автомобильной, пищевой и других отраслей промышленности. В связи с быстрым ростом производства холоднокатаного листа, намечено и значительное повышение производительности отдельных станов холодной прокатки как за счет увеличения веса прокатываемого рулона, так и за счет значительного повышения скорости прокатки.

Наличие высокопроизводительных станов холодной прокатки, в частности, выпускаемых Уралмашзаводом высокоскоростных непрерывных станов [1], предопределяет необходимость разработки эффективных регуляторов толщины прокатываемой полосы, так как эффективное регулирование толщины повышает выход прокатываемой полосы с заданной толщиной и более жесткими допусками.

В отечественной практике вопросы регулирования толщины полосы при холодной прокатке рассматривались ЦКБММ ЦНИИТМАШ (ныне ВНИИМЕТМАШ), ЦЛА и другими организациями [2, 3, 4, 5]. Однако до последнего времени не было отработано промышленного образца регулятора, пригодного для использования на высокоскоростном непрерывном стане холодной прокатки.

Авторами настоящей работы в 1957 г., при наладке пятиклетового непрерывного стана холодной прокатки на Магнитогорском металлургическом комбинате, был разработан регулятор толщины прокатываемой полосы на входе стана. Этот регулятор, однако, имел некоторые конструктивные недоработки, затруднявшие его использование [6]. В 1958—1959 гг. работы по регулированию толщины полосы на входе непрерывного пятиклетового стана были продолжены в лаборатории электропривода и автоматики института НИПИГОРМАШ. В сентябре 1959 г. новый вариант регулятора, имеющий лучшие динамические характеристики и более удобный в эксплуатации, был введен в работу и с тех пор успешно используется на стане. Некоторые этапы указанной разработки освещались ранее [7, 8].

В настоящей работе описывается принцип принятого построения системы регулирования толщины на входе непрерывного стана холодной прокатки, достаточно подробно рассматриваются отдельные элементы схемы и конструктивные элементы регулятора, а также на основании материалов, полученных при экспериментальном исследовании, анализируется работа регулятора на стане.

Разработка регулятора, его внедрение и исследование на действующем стане проводились под руководством авторов настоящей работы. В проведении всех указанных работ, наряду с авторами, участвовали инженеры Ю. А. Мишин, Л. Г. Виноградов и С. И. Виноградова.

Главы 1, 2, 6 написаны Б. Н. Дралюком, главы 3, 4 и 5—Г. В. Синайским, выполнившим и все рисунки в тексте. Обработка осциллограмм, использованных в главе 6, произведена инж. С. И. Виноградовой.

Авторы выражают свою признательность рецензенту брошюры С. А. Воробьеву и И. Н. Печориной за сделанные при просмотре рукописи замечания.

ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ ТОЛЩИНЫ ПОЛОСЫ НА НЕПРЕРЫВНОМ СТАНЕ ХОЛОДНОЙ ПРОКАТКИ

1. Варианты построения системы регулирования в целом по стану

Многоклетевой непрерывный стан для холодной прокатки полосы является сложным производственным агрегатом. Толщину прокатываемой полосы можно корректировать различными регулирующими воздействиями на стан, а именно: изменением скорости вращения валков любой из клеток стана, изменением положения нажимных винтов клеток, изменением жесткости механических характеристик двигателей клеток [9]. Поэтому при построении системы регулирования толщины прокатываемой полосы необходимо прежде всего определить точки наиболее эффективного регулирующего воздействия на стан.

Известно, что отклонение толщины прокатываемой полосы от заданной определяется разнотолщинностью подката и самопроизвольным изменением толщины полосы при прокатке в клетях стана за счет «эффекта скорости» и других явлений [10, 11, 12]. Разнотолщинность подката целесообразно устранять на входной стороне стана, чтобы обеспечить унифицированный режим обжаты на последующих клетях и уменьшить необходимый диапазон корректировки на выходной стороне стана. Разнотолщинность полосы на выходе стана можно уменьшить воздействием на оконечные элементы стана по результатам замера прокатанной полосы.

Исследования процесса прокатки, проводившиеся за рубежом [11], детальное исследование, проведенное ВНИИМЕТМАШ на пятиклетевом стане Магнитогорского металлургического комбината [10], а также обобщение опыта по ручному регулированию толщины прокатываемой полосы показывают, что наиболее эффективно воздействовать на толщину полосы во входной зоне стана изменением положения нажимных винтов первой клетки, а в выходной зоне стана — изменением натяжения полосы между последней и предпоследней клетями стана путем изменения скорости вращения валков последней клетки, причем натяжение

полосы между этой клетью и моталкой поддерживается неизменным.

Анализ режимов прокатки полосы на стане рассматриваемого типа и экспериментальное исследование стана, проведенное ВНИИМЕТМАШ, показали, что воздействие на скорости вращения валков промежуточных клетей непрерывного стана, изменяя режимы натяжений полосы между отдельными клетями, не приводит к существенному изменению конечной толщины полосы ввиду наличия самовыравнивания на стане. Изменение положения нажимных винтов конечных клетей стана также не приводит к заметному изменению толщины полосы на выходе стана, вызывая лишь перераспределение величин натяжений между клетями [10, 12, 13]. Следует отметить, что при определенном значении параметров стана, определяющих степень его самовыравнивания (жесткость клетей, жесткость механических характеристик прокатных двигателей, величина опережения при данной величине натяжения полосы), изменение натяжения полосы между последними клетями стана может не вызывать изменения натяжения полосы между первой и второй клетями, что определяет автономность регулирующих воздействий на входе и выходе стана [13]. Параметры современных высокоскоростных непрерывных станов холодной прокатки таковы, что упомянутая автономность регулирования обычно наблюдается.

Таким образом, для регулирования толщины полосы на стане рассматриваемого типа наиболее эффективно построение двух автономных систем регулирования, одна из которых воздействует на нажимное устройство первой клетки стана, исходя из замера толщины во входной зоне стана, а другая — на скорость вращения валков последней клетки стана по результатам замера толщины на выходе стана. Системы регулирования с упомянутыми регулируемыми воздействиями получили распространение в американской практике [14, 15].

В связи с большой актуальностью создания систем регулирования толщины полосы для непрерывных станов холодной прокатки, разработкой таких систем занимаются зарубежные фирмы и отечественные организации. Поэтому, наряду с вышеприведенной модификацией системы регулирования, имеются и другие предложения. Так, фирма «Вестингауз» (США), оставляя воздействие на входе стана в соответствии с изложенным выше, предложила дополнительно воздействовать на натяжения полосы между всеми клетями стана по результатам замера толщины прокатанной на стане полосы (рис. 1 [16]). Скорость вращения валков третьей клетки пятиклетевого стана при этом остается неизменной, а скорости вращения валков прочих клетей стана меняются. Например, при увеличении толщины полосы на выходе стана увеличивается скорость вращения валков четвертой и пятой клетей и уменьшается на первой и второй клетях. Однако воздей-

ствие на скорость вращения валков первых клеток стана по результатам замера толщины за его последней клетью вызывает большое транспортное запаздывание в системе регулирования, которое затрудняет получение высокого качества регулирования толщины полосы. Поэтому можно полагать, что такой метод воз-

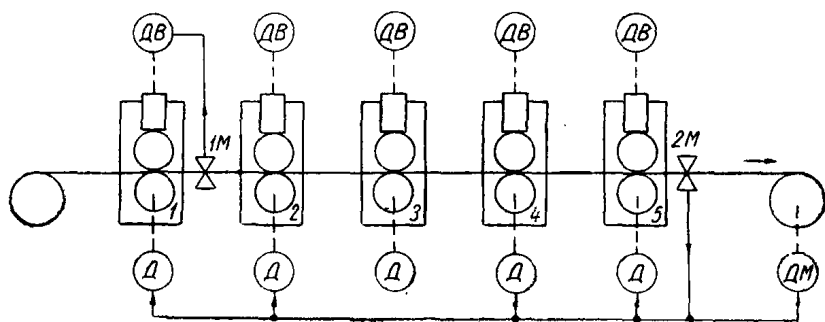


Рис. 1. Схема регулирующих воздействий на пятиклетевом стане, предложенная фирмой «Вестингауз»:

1, 2, 3, 4 и 5 — клетки стана; Д — двигатели клеток; ДМ — двигатель моталки; ДВ — двигатели нажимных винтов; 1М, 2М — микрометры во входной зоне и на выходе стана.

действия на скорости вращения валков всех клеток стана не является целесообразным и продиктован фирменными соображениями. Это подтверждается и тем, что в самое последнее время

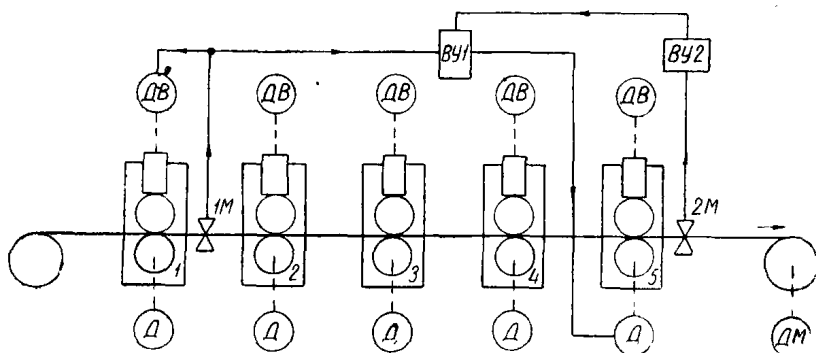


Рис. 2. Схема регулирующих воздействий на пятиклетевом стане при регулировании по возмущению (обозначения элементов см. на рис. 1).

фирма «Вестингауз» оставляет воздействие только на скорость вращения валков четвертой и пятой клеток пятиклетевого стана [17].

Другой вариант системы регулирования толщины полосы показан на рис. 2 [18], где оставлено воздействие на нажимные винты первой клетки по результатам замера толщины полосы за пер-

вой клетью стана. Система регулирования толщины на выходе стана построена как система регулирования по возмущению. Отклонение толщины полосы от заданной замеряется за первой клетью и затем вводится в вычислительное устройство ВУ1, которое выдает команду на изменение скорости вращения валков последней клетки стана. ВУ1 включает в себя элемент с регулируемым временем запаздывания τ и инерционное звено, которые обеспечивают изменение скорости вращения валков последней клетки стана в соответствии с величиной отклонения толщины полосы, входящей в валки этой клетки стана, в каждый данный момент времени таким образом, чтобы обеспечить полную компенсацию отклонений толщины. Поскольку из-за изменения параметров прокатки в ходе технологического процесса необходимое для обеспечения полной компенсации время запаздывания τ и величина коэффициента передачи k ВУ1 должны изменяться, предусматривается подстройка этих величин с помощью вычислительного устройства ВУ2 по результатам замера конечной толщины полосы. Эта подстройка проводится из условия минимизации отклонения конечной толщины полосы от заданного значения.

Такое построение системы регулирования целесообразно в случае, когда отклонения толщины полосы от заданной в выходной зоне стана обусловлены, в основном, соответствующими отклонениями толщины полосы, замеренными за первой клетью. Однако в связи со снижением скорости прокатки на стане при заправке полос и при прохождении швов, сваривающих в один рулон несколько полос, разнотолщинность полосы на выходе стана резко отличается от разнотолщинности полосы за первой клетью. Так, при эффективной работе регулятора толщины полосы на входе стана разнотолщинность полосы за первой клетью сводится к минимуму по всей длине прокатываемой полосы и не превышает $1 \div 2\%$ от заданной толщины полосы, тогда как отклонение толщины полосы от заданной на выходе стана при уменьшении скорости прокатки в зоне сварного шва может превышать 20% от заданного размера. Эти данные можно получить из осциллограмм, характеризующих работу пятиклетевого стана (см. рис. 25, 26). Таким образом, система регулирования толщины полосы, показанная на рис. 2, не может быть эффективной при большом диапазоне скоростей в цикле прокатки каждого рулона.

Как указано выше, на непрерывных станах получила распространение система, в которой толщина прокатываемой полосы регулируется действием двух автономных регуляторов на входной и выходной сторонах стана. Однако такая система регулирования не обеспечивает заданной толщины полосы при глубоком снижении скорости прокатки в зоне сварных швов (скорость прокатки на выходе стана в этом режиме снижается до $2 \div 4$ м/сек, а в некоторых случаях и ниже). Это объясняется тем, что утолщение полосы, связанное с «эффектом скорости», при глубоком

снижении скорости прокатки является столь значительным, что натяжение полосы между четвертой и пятой клетями, достигнув предельно допустимого значения, не может выправить имеющееся увеличение толщины полосы. Повышать натяжение полосы между другими клетями стана по сигналу, выработанному на основании замера конечной толщины полосы, как указано выше, нецелесообразно.

Для выяснения направления регулирующих воздействий на стане, которые позволят свести к минимуму действие «эффекта скорости», рассмотрим некоторые особенности режимов пяти-клетевого стана при глубоком снижении скорости прокатки. «Эффект скорости» эквивалентен подъему нажимных винтов клетей стана при снижении скорости прокатки, причем этот подъем в большей мере происходит на последних клетях стана [19]. Такой подъем винтов вызывает увеличение натяжения полосы между клетями стана (наибольшее увеличение натяжения полосы наблюдается между последними клетями [10, 13]), которое частично компенсирует «эффект скорости». Однако на выходе стана остается значительное утолщение полосы. Утолщение полосы при переходе с высокой рабочей скорости на малую, в конечном счете, определяется изменением соотношения скоростей прокатки в первой и пятой клетях стана. Действительно, необходимое соотношение скоростей в принятой системе управления двигателями клетей стана [9,20] обеспечивается на разных уровнях скорости прокатки за счет точного поддержания соотношения напряжений генераторов, питающих двигатели клетей. В то же время при глубоком снижении скорости прокатки на стане, когда натяжение полосы между четвертой и пятой клетями стана (заднее натяжение пятой клетки) значительно увеличивается (часто в 2—3 раза), натяжение между первой и второй клетями (переднее натяжение первой клетки) меняется незначительно. Поэтому скорость прокатки в пятой клетке уменьшается относительно скорости прокатки в первой клетке в результате существенного увеличения нагрузки двигателей пятой клетки и связанного с этим увеличения омического падения напряжения в главных цепях электрических машин привода пятой клетки, причем роль этого добавочного падения напряжения растет по мере снижения уровня скорости прокатки на стане, определяемой уровнем напряжения питающих генераторов. Поскольку в установившемся режиме секундный объем металла, задаваемый первой клетью, равен секундному объему металла, проходящему через пятую клетку, то указанное изменение соотношения скоростей прокатки в первой и пятой клетях, при постоянстве толщины полосы за первой клетью, должно неизбежно приводить к утолщению полосы на выходе стана в режиме малой скорости прокатки, причем это утолщение, как уже указывалось выше, может превышать 20 % заданной толщины полосы.

будет значительным на малых скоростях прокатки. КУ1 выдает команды на изменение скорости вращения валков последней, пятой клетки (К2) и скорости вращения моталки (К3). Командное устройство КУ2 осуществляет «синхронизацию» скоростей вращения валков первой и пятой клеток (командный сигнал К4), для чего в это устройство задаются сигналы, пропорциональные соответствующим скоростям. Для того, чтобы рассматриваемая «синхронизация» скоростей не мешала работе регулятора на выходе стана, в КУ2 подается сигнал КУ1, который обеспечивает возможность изменения скорости вращения валков пятой клетки при неизменной скорости первой клетки по команде КУ1. Увеличение натяжений полосы между клетями четвертой-пятой и первой — второй сверх предельного уровня снимается работой нажимных винтов пятой и второй клеток соответственно. Командные сигналы на приводы винтов (К5 и К6) вырабатываются по сигналам тензометров Т. Испытания описанной системы регулирования на стане выявят необходимость дополнительных связей, например, воздействия на скорость вращения валков четвертой клетки стана от командного устройства КУ1. Схему регулирования можно дополнить также регуляторами — ограничителями натяжений полосы между всеми клетями стана, которые, по данным замера межклетевого натяжения, воздействуют на скорости вращения валков клеток и положение нажимных винтов. Такие регуляторы-ограничители предложены и разрабатываются институтом ВНИИМЕТМАШ.

В дальнейшем, после отработки всех узлов системы регулирования толщины прокатываемой полосы, отработки датчиков технологических параметров и уточнения основных математических зависимостей, связывающих параметры прокатываемой полосы с технологическими параметрами и свойствами прокатного стана, станет целесообразной установка оптимизирующих и вычислительных устройств, обеспечивающих работу стана в наиболее рациональном режиме [21].

2. Построение системы регулирования толщины полосы на входной стороне стана

Способ замера толщины полосы

На всех приведенных выше скелетных схемах (см. рис. 1, 2 и 3) регулирование на входе стана осуществляется воздействием на нажимные винты первой клетки по результатам замера толщины полосы за этой клетью с помощью микрометра, что соответствует существующей практике [2, 3, 7, 14, 16]. Однако измерять толщину полосы на входе стана можно и косвенным методом, по давлению металла на валки, измеряемому мессдозой, и положению нажимных винтов. Такой метод замера применяется за рубежом

на некоторых реверсивных станах холодной прокатки [22, 23, 24]. Сигнал, полученный в результате суммирования напряжений на выходах мессдозы и датчика положения винтов, вводится в систему регулирования без транспортного запаздывания, что улучшает динамические показатели этой системы. Однако соответствие этого сигнала толщине прокатываемой в клетке полосы является неточным, особенно при косвенном способе замера на клетях современных станов, имеющих высокую механическую жесткость и подшипники жидкостного трения на опорных валках [24, 25]. Следует особо отметить наличие двух источников ошибки измерения при косвенном методе замера: наличие эксцентриситета опорных валков и изменение толщины масляной пленки в подшипниках жидкостного трения опорных валков клетки при изменении скорости прокатки и давления металла на валки. Оба эти источника ошибок приводят к ложным сигналам, которые имеют обратный знак по отношению к истинному отклонению толщины. Ошибку за счет изменения толщины масляной пленки можно в определенной мере компенсировать с помощью специальной параметрической схемы [19, 24], однако полной компенсации ошибки при этом не достигается. Указанные погрешности косвенного замера, как и ряд других ошибок измерения, свойственных этому методу [24, 26], вынуждают устанавливать и непосредственный измеритель толщины полосы за клетью, микрометр, который необходим как для настройки системы косвенного замера, так и для корректировки сигналов этой системы при регулировании толщины полосы. Таким образом, косвенное измерение дополняется непосредственным измерением толщины [24].

Применение рассмотренного способа замера толщины полосы на входе непрерывного стана нельзя признать целесообразным, поскольку качество регулирования толщины полосы на входе стана системами, использующими один лишь сигнал микрометра установленного за первой клетью стана, является вполне удовлетворительным. В то же время высокостабильные и точные отечественные мессдозы, необходимые при косвенном замере толщины, еще не вышли из стадии опытных испытаний. Поэтому следует избегать использования мессдоз в качестве командных датчиков в тех случаях, когда необходимое качество регулирования обеспечивается без их применения. Нужно отметить, что использование сигнала мессдозы для улучшения динамических характеристик регуляторов там, где это необходимо (как, например, предусмотрено в схеме рис. 3), должно дать положительные результаты.

Таким образом, при разработке системы регулирования толщины полосы на входе стана следует, на наш взгляд, в соответствии с существующей практикой, основываться на непосредственном замере толщины полосы за первой клетью стана с помощью микрометра.

Система прерывистого регулирования

Основной особенностью системы регулирования толщины полосы на входе стана, осуществляющей воздействие на нажимные винты первой клетки, по данным замера полосы микрометром, расположенным за этой клетью, является наличие транспортного запаздывания. Для преодоления транспортного запаздывания в американской практике применен регулятор прерывистого действия. Скелетная схема наиболее совершенного регулятора такого типа приведена на рис. 4 [16].

Отклонение толщины полосы от заданной замеряется бесконтактным микрометром 1М, преобразующим это отклонение в

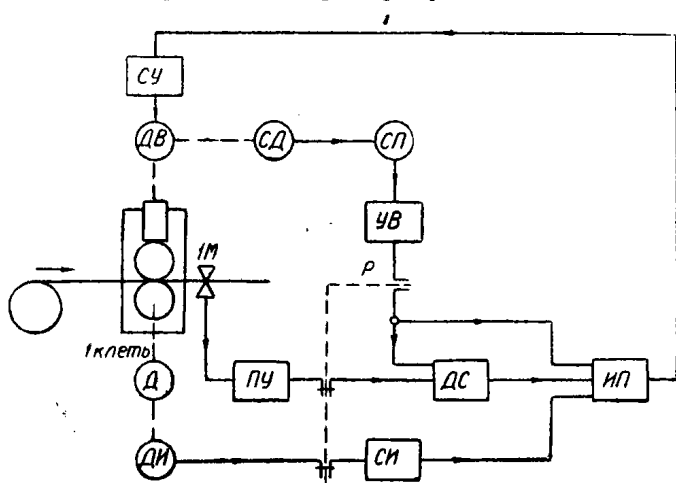


Рис. 4. Скелетная схема регулятора толщины полосы прерывистого действия на входе стана.

напряжение, которое затем усиливается в промежуточном усилителе ПУ и подается в детектор сигнала ДС, фиксирующий знак отклонения толщины. Если отклонение толщины от заданной больше установленной в детекторе зоны нечувствительности, то импульсный переключатель ИП включает двигатель нажимных винтов ДВ через систему управления двигателем СУ на время, зависящее от замеренной величины ошибки, и в направлении, определяемом знаком ошибки. После отработки заданного блоком ИП времени двигатель винтов отключается и вводится пауза, необходимая для прохождения обжатого участка полосы от зева валков до микрометра. Время паузы определяется счетчиком импульсов СИ, который по команде датчика импульсов ДИ, связанного с валом двигателя клетки Д, измеряет длину полосы, проходящей через валки. По окончании паузы производится следующее измерение, по результатам которого вырабатывается команда на следующее включение, и т. д.

В связи с тем, что толщина передней части полосы одной и той же партии металла примерно одинакова, предусматривается возврат винтов в исходное положение, определяемое толщиной переднего конца полосы, по окончании прокатки очередного рулона, если этот рулон прокатывался при автоматическом управлении винтами первой клетки. Для осуществления режима возврата винтов в исходное положение производится переключение цепей управления с помощью реле Р, и винты управляются в этом случае от узла управления возвратом УВ, который получает информацию о положении винтов через сельсинную передачу СД—СП.

Регулирование толщины полосы по описанной схеме на основании мгновенного замера толщины вряд ли возможно, если имеется существенная высокочастотная составляющая в отклонении толщины полосы от заданной, так как при наличии высокочастотных колебаний толщины полосы регулирование по мгновенному замеру может привести к повышению отклонений толщины полосы от ее среднего значения до величины, равной двойной амплитуде высокочастотных отклонений толщины. Поэтому замер толщины должен производиться с определенным усреднением, что при большом диапазоне скоростей прокатки вызывает серьезные затруднения и необходимость в увеличении времени паузы.

Таким образом, при работе стана, имеющего существенную высокочастотную составляющую разнотолщинности полосы и большой диапазон скоростей в цикле прокатки рулона, ошибка регулирования может быть весьма значительной за счет отклонения толщины прокатываемой полосы от заданного значения в период пауз, имеющих значительную длительность.

Непрерывно-релейная система регулирования

Авторами настоящей работы предложено другое исполнение системы регулирования толщины полосы на входе стана. Система регулирования выполняется как непрерывно-релейная, необходимый вид релейных характеристик такой системы рассматривается ниже.

Предположим, что на входе стана имеется регулятор, обеспечивающий релейную зависимость между величиной рассогласования и скоростью перемещения винтов в соответствии с характеристикой рис. 5. Предположим далее, что толщина подката на длине полосы, соответствующей пути транспортного запаздывания — расстоянию от оси рабочих валков клетки до микрометра — S_0 , м, остается неизменной. Примем, что отклонение толщины полосы от заданного значения достаточно велико, так, что нажимные винты в ходе отработки рассогласования успевают достичь скорости, соответствующей рабочей зоне характеристики рис. 5. Если при этом предположить, что винты тормозятся мгновенно,

в момент входа замераемого отклонения толщины полосы Δh в пределы зоны нечувствительности, то для устойчивой работы регулятора необходимо, чтобы полоса обжималась на величину, численно равную зоне нечувствительности ($\Delta h_{3н}$, мм) на длине полосы, равной S_0 , м.

В этом случае при остановке винтов в момент входа замераемого отклонения толщины полосы в зону нечувствительности толщина полосы в зеве валков будет равна заданной. Из вышесказанного следует, что время прохождения полосой пути

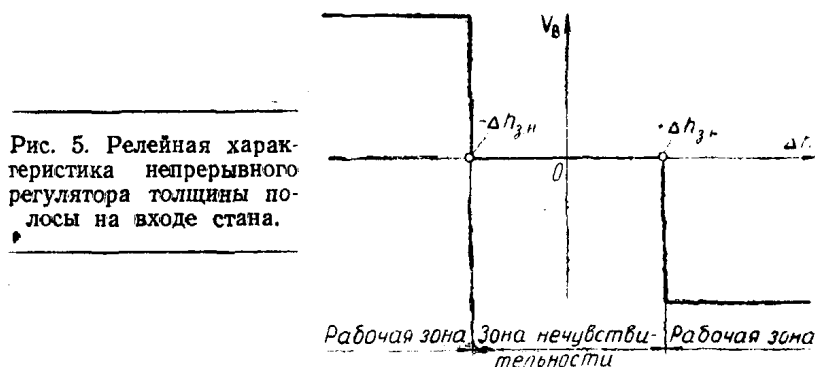


Рис. 5. Релейная характеристика непрерывного регулятора толщины полосы на входе стана.

запаздывания S_0 должно быть равно времени, за которое полоса обжимается на величину $\Delta h_{3н}$.

Следовательно,

$$\frac{\Delta h_{3н}}{k \cdot v_B} = \frac{S_0}{v_1},$$

где v_B — скорость нажимных винтов, мм/сек;

v_1 — скорость полосы за первой клетью, м/сек;

k — коэффициент, связывающий величину перемещения винтов с величиной обжатия полосы. Например, по данным ВНИИМЕТМАШ, величина этого коэффициента для первой клетки пятиклетевого стана ММК составляет в среднем 0,6.

Отсюда получим зависимость

$$v_B = \frac{\Delta h_{3н}}{k S_0} \cdot v_1.$$

Таким образом, при работе регулятора с характеристикой согласно рис. 5 и при сделанных допущениях для качественного регулирования следует обеспечить пропорциональность между скоростью перемещения нажимных винтов и скоростью прокатываемой полосы, причем коэффициент пропорциональности при данной установке микрометра определяется величиной зоны нечувствительности регулятора. Далее нужно учесть, что нажимные

винты не останавливаются мгновенно при входе замераемого отклонения толщины полосы в зону нечувствительности. Поэтому для компенсации инерции привода винтов следует осуществить упреждение отключения привода винтов, зависящее от их скорости. Это упреждение можно обеспечить воздействием на зону нечувствительности регулятора, увеличивая эту зону при увеличении скорости перемещения винтов в соответствии с увеличением пути их выбега.

Таким образом, если принять непрерывную систему регулирования с релейными характеристиками согласно рис. 5, причем скорость нажимных винтов в рабочей зоне характеристик связать определенной линейной зависимостью со скоростью прокатки, а величину зоны нечувствительности изменять при изменении скорости перемещения винтов в соответствии с увеличением их пути выбега, то можно ожидать, что система будет работать устойчиво, при надлежащем качестве. Это предположение, как будет показано ниже, было полностью подтверждено практикой.
