

УДК 65.011.56

Н.В. Жукова, М.А. Лепихова

Донецкий национальный технический университет, г. Донецк
кафедра автоматизации и телекоммуникаций
E-mail: Zhnatka@mail.ru, mari_piho@mail.ru

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА РЕГУЛИРОВАНИЯ ТОЛЩИНЫ ПРОКАТА НА РЕВЕРСИВНОМ СТАНЕ ХОЛОДНОЙ ПРОКАТКИ С ГИДРАВЛИЧЕСКОЙ НАЖИМНОЙ СИСТЕМОЙ

Аннотация

Жукова Н.В., Лепихова М.А. Улучшение качества регулирования толщины проката реверсивного стана холодной прокатки с гидравлической нажимной системой. Предложен метод управления, позволяющий улучшить точность и скорость реакции системы при регулировании толщины проката.

Ключевые слова: реверсивный прокатный стан, гидронажимное устройство, валки, толщина проката.

Общий анализ проблемы и постановка задачи исследований.

Реверсивный стан холодной прокатки – это прокатная клеть, обжимающая полосу в валках давлением на нее, создаваемым нажимными устройствами, и ее натяжением, создаваемым разматывающей моталкой (до клетки) и наматывающей моталкой (после клетки) при заданной скорости вращения валков. Реверс валков клетки и моталок позволяет повторять обжатие чередованием направления прокатки. Регулирование толщины возможно как воздействием на давление, так и воздействием на натяжение полосы.

Известная система [1,2] работает следующим образом:

- моталки поддерживают соответствующее измеренное (или вычисленное по их нагрузке) натяжение по их отклонению от заданного значения;
- нажимные устройства регулируют толщину полосы с упреждением по результатам ее измерения до клетки (по возмущению) и с запаздыванием по результату ее измерения после клетки (по отклонению);
- кроме того, оба результата измерения толщины используются для регулирования толщины полосы изменением натяжения полосы до клетки разматывающей моталкой (и по возмущению и по отклонению).

Эта система вполне работоспособна. Однако регулирование толщины полосы натяжением моталки:

- ограничено пределами 5% (для качественной размотки рулона необходимо более или менее устойчивое натяжение полосы);
- моталки имеют большую инерцию и компенсация изменения натяжения будет медленной. Иными словами, колебания толщины полосы на входной стороне, например, 2-3 Гц или выше не могут быть устранены с помощью вышерассмотренной системы управления;

С другой стороны:

- существует проблема чередования регулирующих воздействий натяжением и давлением (параллелизм воздействий порождает их неопределенность);
- изменение натяжений полосы на входе и выходе клетки может возникать из-за сопротивления деформации рабочего тела в очаге деформации, что может сводить на нет изменение зазора между рабочими валками, и толщина проката не изменится. Кроме того, требуется точное знание коэффициентов передачи от воздействий к толщине через

пластичность полосы, зависящую не только от марки стали, но и от условий ее обжатия в валках и от N ее пропуска через них (от наклепа полосы);

- такие возмущения, как эксцентриситет валков, возникающие за счёт самого стана, также влияют на толщину прокатки, что приводит к снижению точности и качества регулирования. Обычно, для решения этой проблемы используются системы управления для устранения эксцентриситета, в которых значение эксцентриситета получается исходя из, например, сигнала давления прокатки и на основе этого значения, система корректирует зазор между рабочими валками изменяя его в сторону, обратную эксцентриситету. Однако такая методика не может устранить влияние эксцентриситета при высокой скорости прокатки, так как период изменения эксцентриситета слишком высок для гидронажимной системы изменения зазора между валками.

Таким образом, качество проката по толщине во многом зависит от удачной реализации САРТ, которая должна быстро реагировать и компенсировать высокоскоростные и более медленные составляющие изменений натяжения полосы на входе и выходе клетки. Тогда возникает задача повышения качества регулирования толщины за счет организации взаимодействия регулирующих связей по основным технологическим параметрам процесса и оптимального использования механизмов стана.

Решение задачи.

Для решения задачи рассмотрим общий принцип регулирования натяжения [3-5], приведенный на структурной схеме (рис. 1). Момент двигателя τ необходимый для создания натяжения T на катушке моталки с радиусом R , равен:

$$\tau = R \cdot T \tag{1}$$

С другой стороны, выходной момент двигателя моталок равен:

$$\tau = i \cdot \phi \tag{2}$$

Из (1) и (2), получим:

$$T = i \cdot \frac{\phi}{R}, \tag{3}$$

где i - ток двигателя, ϕ - поле магнитной индукции двигателя.

Если регулирование устроено так, что радиус катушки R становится пропорционален полю магнитной индукции ϕ , то $\frac{\phi}{R}$ принимает постоянное значение и натяжение T становится пропорционально току двигателя i .

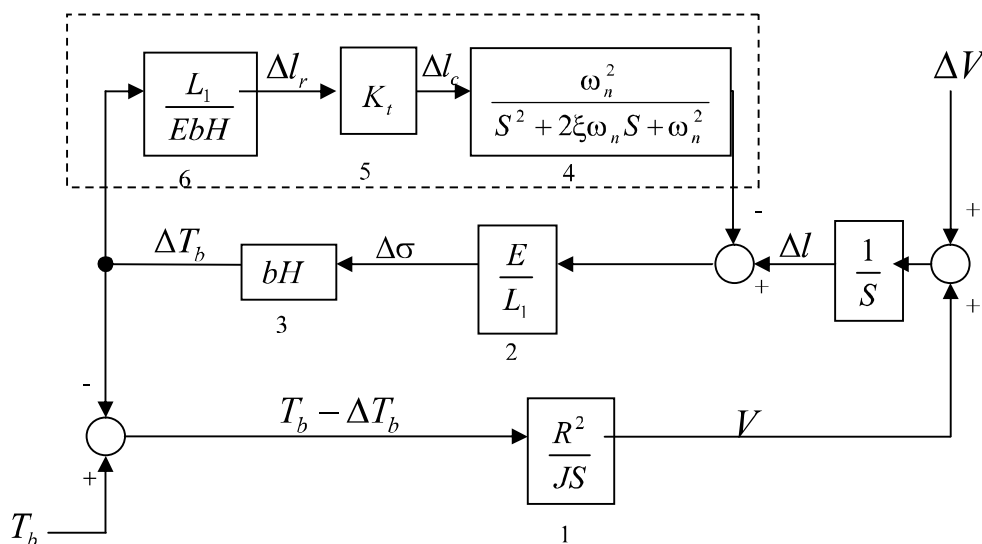


Рисунок 1 – Структурная схема регулирования натяжения

На рис. 1 регулятор опущен, так как он имеет высокую скорость отклика. Пунктирной линией отмечены блоки, представляющие характеристику регулятора натяжения, а все остальные – физические явления, происходящие в процессе прокатки. Используемые символы: E – модуль Юнга рабочего тела; b – ширина рабочего тела; H – толщина рабочего тела; L_1 – расстояние между рабочей клетью и моталкой; J – момент инерции моталки вместе с катушкой; R – радиус катушки; K_i – усиление регулятора натяжения; S – оператор Лапласа; ΔV – изменение скорости прокатки; ΔT_b – обратное изменение натяжения.

Используя данную структурную схему, опишем возникновение текущих изменений натяжения во время процесса прокатки и работу регулятора натяжения. Сначала моталка, вместе с катушкой ускоряется под действием величины T_b , которая пропорциональна значению тока двигателя от регулятора тока (не указан) для образования скорости V моталки. Скорость моталки V возмущается изменением скорости ΔV рабочего тела из-за изменения натяжения на входной и выходной сторонах стана и/или из-за вариаций толщины рабочего тела, которые вызывают дисбаланс скорости через сумматор. Затем, это значение интегрируется в разницу удлинений Δl в продольном направлении рабочего тела, откуда в блоке 2 вычисляется изменение напряжения натяжения $\Delta \sigma$. Умножив это значение на bH , получим обратное изменение натяжения ΔT_b , которое сравнивается на сумматоре со значением натяжения T_b для получения величины отклонения. Моталка управляется этим отклонением так, чтобы скомпенсировать влияние ΔV . Компенсационное влияние протекает медленно, как уже было сказано, из-за большой инерционности моталки, что выражено в блоке 1. Это текущая генерация изменений натяжения во время прокаточного процесса и её традиционная компенсация с помощью моталки. Для сравнения, в соответствии с системой регулирования натяжения представленной в данной работе, изменение натяжения ΔT_b конвертируется в блоке 6 в изменение удлинения Δl_r . Полученное значение усиливается в K_i раз для получения величины Δl_c , с помощью которой и происходит регулирование натяжения. Таким образом, переходный процесс происходит намного быстрее, так как на него не влияет инерционность моталки.

Если не учитывать блоки, внутри области, отмеченной пунктирной линией (то есть без учёта системы регулирования), то получим следующую передаточную функцию:

$$\frac{\Delta T_b}{\Delta V} = \frac{\frac{S}{\left(\frac{R^2}{J}\right)}}{\frac{S^2}{\left(\frac{EbH}{L_1}\right)\left(\frac{R^2}{J}\right)} + 1} \quad (4)$$

Из выражения (4) получим резонансную частоту:

$$\omega_n = \sqrt{\left(\frac{EbH}{L_1}\right)\left(\frac{R^2}{J}\right)}$$

Передаточная функция системы с блоками внутри области, отмеченной пунктирной линией (то есть с учётом системы регулирования):

$$\frac{\Delta T b}{\Delta V} = \frac{\frac{S}{\left(\frac{R^2}{J}\right)}}{\frac{S^2}{\left(\frac{EbH}{L_1} \cdot \frac{1}{1+K_t \cdot G}\right) \left(\frac{R^2}{J}\right)} + 1}, \quad (5)$$

где $G = \frac{\omega_n^2}{S^2 + 2\xi\omega_n S + \omega_n^2}$ – динамическая характеристика регулятора натяжения (блок 4).

Из выражения (5) получим резонансную частоту:

$$\omega_n = \sqrt{\left(\frac{EbH}{L_1} \cdot \frac{1}{1+K_t \cdot G}\right) \left(\frac{R^2}{J}\right)} \quad (6)$$

Фактически регулятор натяжения, служит для того, чтобы изменить модуль Юнга рабочего тела, поэтому он отклоняет резонансную частоту ω_n , вызываемую инерционностью моталки и коэффициентом упругости (модулем Юнга) рабочего тела в область, где они не оказывают влияния на систему регулирования. Изменяя коэффициент K_t , можно устранить такое явление, когда натяжение сильно зависит от резонанса моталки, и толщина проката не будет изменяться, даже если зазор между рабочими валками изменяется с большой частотой, как это получается в традиционных известных системах регулирования.

Для подавления высокоскоростных изменений натяжения рабочего тела на входной и выходной сторонах полосы прокатки, необходимо установить регуляторы натяжения 32 и 33 (рис. 3). Данные регуляторы поддерживают натяжение рабочего тела около заданной величины $T_{уст}$. Это могут быть любые регуляторы, но главное условие – чтобы их скорость регулирования была не медленнее, чем гидронажимная система регулирования зазора между рабочими валками. Механизм регулирования натяжения представлен укрупненно на рис. 2.

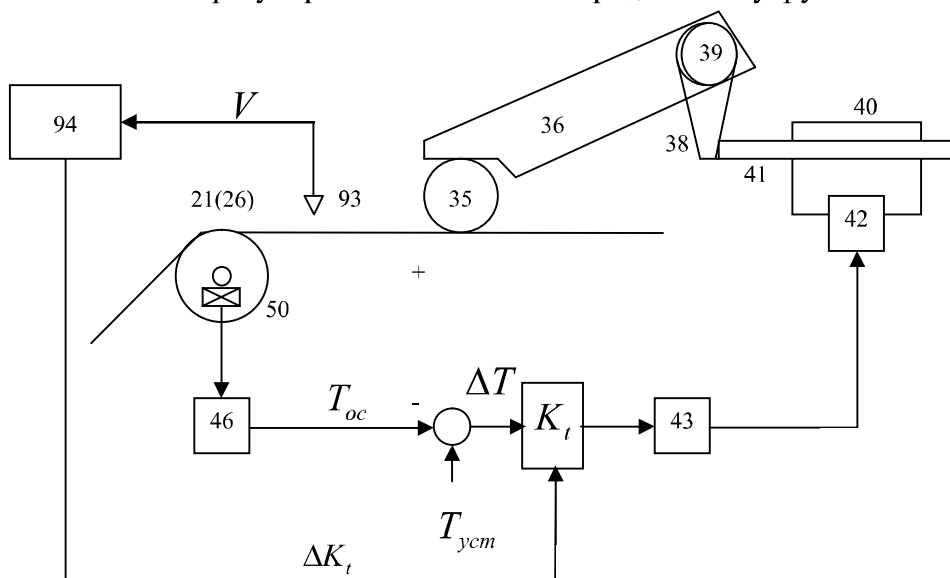


Рисунок 2 – Общее устройство регулирования натяжения

Двоящий вал 35 вращательно поддерживается на руке 36 и приложен к рабочему телу. Датчик нагрузки 50 приложен к отклоняющему валу 21(26) так, чтобы измерять силу

противодействия от рабочего тела. Рука 36 соединена с рычагом 38 и вращается вокруг оси 39 для вертикального перемещения вала 35. С другой стороны, рычаг 38 соединён со стержнем 41, который проходит через гидравлический цилиндр 40 и может вращать ось 39 путём регулирования скорости подачи жидкости в цилиндр 40 с помощью сервоадвижки 42. Вращательное движение рычага 38 приводит в движение руку 36, что в свою очередь вертикально перемещает валок 35. Открытие сервоадвижки регулируется отдельной САР на основе разницы между натяжением уставки $T_{уст}$ и текущим натяжением рабочего тела T . Сила противодействия рабочего тела, измеряемая датчиком 50, преобразуется вычислителем натяжения 46 в величину T_{oc} . Отклонение ΔT умножается на коэффициент K_t и используется для управления сервоадвижкой 42 через сервоусилитель 43, пока отклонение ΔT не станет равным нулю. Как видно из выражения (6), инерционность моталки зависит от радиуса катушки R . Скорость V подачи рабочего тела измеряется датчиком 93. На её основе вычислитель 94 получает частоту входного возмущения толщины, чтобы получить значение ω_n , необходимое для определения величины корректировки K_t на основе обратного вычисления из уравнения (6).

Как было сказано выше, традиционные методики регулирования не могут устранить влияние эксцентриситета при высокой скорости прокатки, так как период изменения эксцентриситета слишком высок для гидронажимной системы изменения зазора между валками. По этой причине используем следующую методику (рис.3). На основе сигнала t от толщинометра 22 на входной стороне вычислитель зазора между валками вычисляет требуемое значение изменения, чтобы сбалансировать возмущение толщины на входе. Основываясь на сигнале V_s от датчика скорости 55, вычислитель 51 определяет время, когда необходимо произвести изменение зазора, то есть тот момент времени, когда это возмущение по толщине попадёт между рабочими валками. Вычислитель 51 передаёт сигнал о требуемом изменении C_F в основной контур управления зазором на сумматор 13 в вычисленный им момент времени. Далее, вычислитель коэффициента стана 52 анализирует значения от датчика нагрузки 1 и выходного толщинометра 25 для получения частотной составляющей выходного изменения толщины и на основе этого вычисляет оптимальное значение. Значение оптимального коэффициента стана K_B передаётся на вычислитель корректирующего усиления, который передаёт значение C на блок 16.

Полностью, вся САРТ работает по следующему принципу (рис. 3). Регуляторы натяжения 32 и 33 измеряют изменения натяжения на рабочем теле и перемещают валок 35 для их подавления. Таким образом, изменения натяжения из-за изменения зазора между рабочими валками быстро устраняются, и изменение зазора позволяет изменить толщину проката. Изменения толщины на входной стороне измеряются толщинометром 22, а скорость подачи V рабочего тела измеряется датчиком скорости 55. В вычислителе 51 на основе сигналов t и V_s вычисляется необходимое компенсационное изменение зазора между рабочими валками в момент времени, когда изменение попадёт между рабочими валками. Значение компенсации C_F подаётся на сумматор 13 основной цепи позиционирования. Таким образом, подавляется изменение толщины на входе. Также, вычислитель 52, основываясь на сигнале P_{oc} от датчика нагрузки 1 и/или сигнале h_{oc} от толщинометра 25 на выходе, вычисляет частотную составляющую изменения толщины на выходе и оптимальный коэффициент стана для устранения влияния самого прокатного стана, например, эксцентриситета. Основываясь на полученном сигнале K_B , блок 53 вычисляет необходимое корректировочное усиление C , который используется в блоке 16. Для работы вычислителя 52 не обязательно использовать оба сигнала P_{oc} и h_{oc} , достаточно только одного из них.

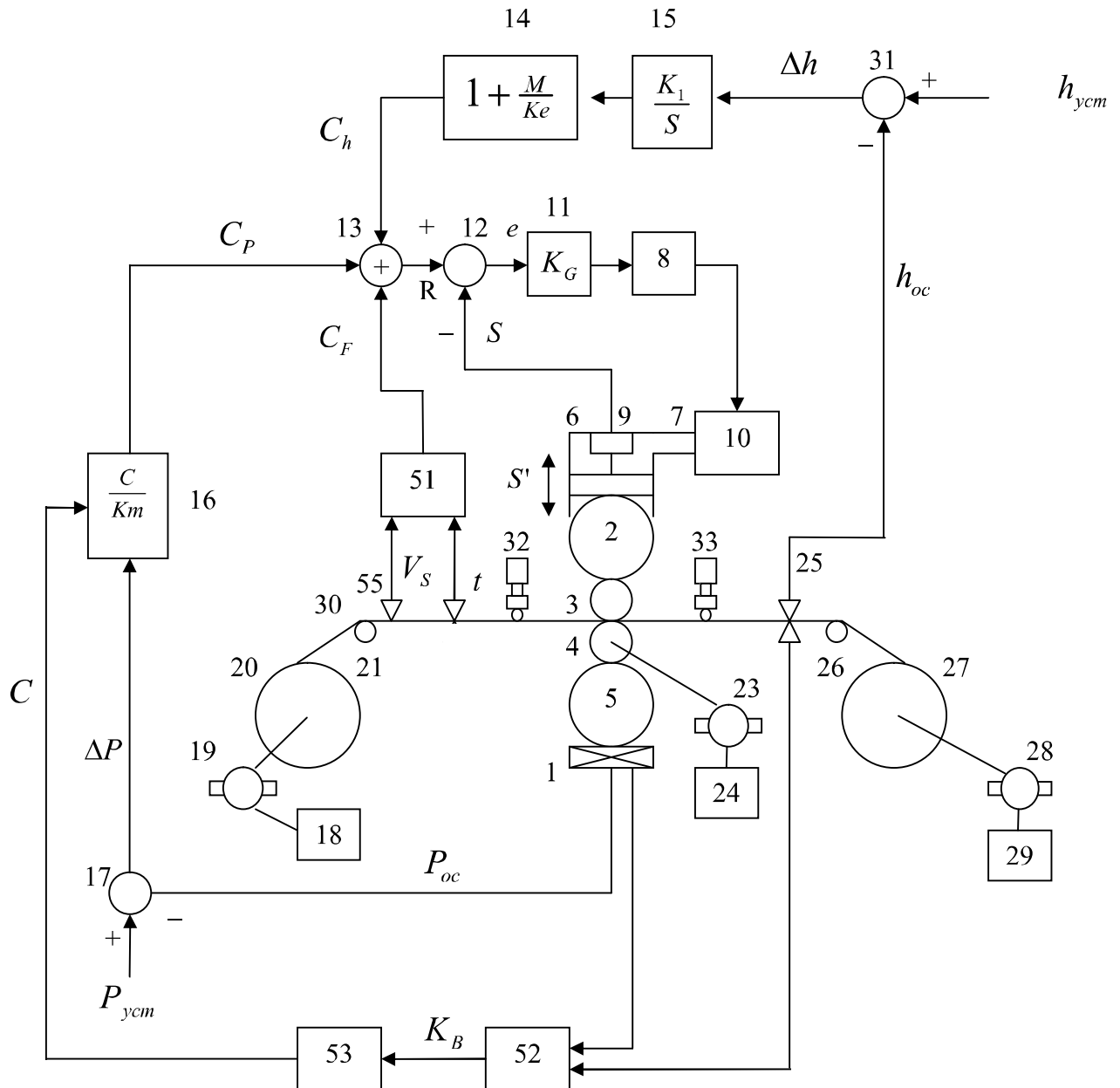


Рисунок 3 – Функціональна схема модернізованої САРТ реверсивного прокатного стану

Выводы.

1. Разработанная система оптимально распределяет использование механизмов стана для регулирования толщины проката. Моталка поддерживает скорость полосы, поступающей в стан, скорость вращения валков поддерживает толщину полосы, нажимные устройства поддерживают натяжение размотки полосы.
2. Система позволяет быстро реагировать и компенсировать высокоскоростные составляющие изменений натяжения полосы за счет регуляторов натяжений на входе и выходе клетки.
3. Регулятор натяжения устраняет явление зависимости натяжения от резонанса моталки за счет, отклонения резонансной частоты, вызываемой инерционностью моталки, в область, где она не оказывает влияния на систему регулирования.

Литература

1. Б.Н. Дралюк, Б.И. Конторович, А.Л. Маланов // Электропривод и автоматизация мощных машин: сб. науч. тр. – Свердловск: НИИтяжмаш, 1991. - С.81-96
2. Дралюк Б.Н., Конторович Б.И., Маланов А.Л. // Внедрение микропроцессорной САРТ на реверсивном стане холодной прокатки. – 1996. - № 5. - С.33-36.
3. Выдрин В.Н. Автоматизация прокатного производства / В.Н. Выдрин, А.С. Федосиенко. – М.: Металлургия, 1984 - 472 с.
4. Автоматизация управления листовыми прокатными станами / Б.И. Кузнецов, И.О. Опришко, И.М. Богаенко и др. – К.: Техника, 1992. – 231 с.
5. Гудвин Г.К. Проектирование систем управления / Г.К. Гудвин, С.Ф. Гребне, М.Э. Сальгадо. – 2004. - 962 с.

Надійшла до редакції:
28.02.2011

рекомендовано до друку:
д-р техн. наук, проф. Скобцов Ю.О.

Abstract

Zhukova N.V., Lepihova M.A. Thinckness control quality improvement of reversible cold-rolling mill with hydraulic pressure system. Proposed control method which can improve accuracy and response speed of the thickness control system

Keywords: reversible rolling mill, hydraulic pressure system, rolls, thickness.

Анотація

Жукова Н.В., Лепихова М.А. Поліпшення якості регулювання товщини прокату реверсивного стану холодної прокатки з гідравлічною нажимною системою. Запропоновано метод керування, що дозволяє поліпити точність і швидкість реакції системи при регулюванні товщини прокату.

Ключові слова: реверсивний прокатний стан, гідронажимний пристрій, валки, товщина прокату.

© Жукова Н.В., Лепихова М.А., 2011