

Куваев В.Н.¹, Чигринский В.А.², Карпинский Ю.П.³,
Иванов Д.А.⁴, Политов И.В.⁵, Куваев Я.Г.⁶

ЭНЕРГО- И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ НА НЕПРЕРЫВНЫХ СОРТОПРОКАТНЫХ СТАНАХ НА ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ АВТОМАТИЗАЦИИ

Выполнен анализ источников энерго- и ресурсосбережения при технологической автоматизации непрерывных сортопрокатных станов. Рассмотрено три группы систем технологической автоматизации: системы управления скоростным режимом прокатки, системы раскроя, системы автоматизированного контроля процесса термоупрочнения. У производителя сортового проката основной эффект энерго- и ресурсосбережения от технологической автоматизации достигается за счет сокращения времени настройки режимов технологического процесса, а у потребителя – от повышения качественных характеристик товарного проката.

Основными задачами, которые решает технологическая автоматизация непрерывных сортопрокатных станов, является настройка и поддержание рациональных режимов ведения технологического процесса, минимизация потерь металла, сокращение внеплановых простоев.

Для таких массовых производств, как металлургическое, в частности, для непрерывных прокатных станов решение данных задач является наиболее актуальным и с точки зрения энергосбережения.

Так, например, установленная мощность электродвигателей только главных приводов непрерывных мелкосортных прокатных станов составляет более 15 МВт, и их работа на холостом ходу в период настройки технологического режима производства проката приводит к существенным потерям электроэнергии. Период настройки характеризуется максимальными непроизводительными потерями и других видов ресурсов, необходимых для обеспечения технологического процесса производства сортового проката.

Сокращение периода настройки технологического режима позволяет непосредственно уменьшить и прямые потери металла (заготовок) на пробную прокатку. Важность сокращения таких потерь следует уже из того факта, что в металле заготовки аккумулированы энерго- и ресурсозатраты всех предыдущих металлургических переделов – доля стоимости исходной заготовки в общей себестоимости сортового проката составляет более 90 %. Поэтому сокращение количества заготовок, используемых на пробную прокатку, и, тем более, случаев производства проката со свойствами, несоответствующим и условиям заказа – некондиционного проката, на действующих непрерывных сортовых станах наиболее эффективно с точки зрения энерго- и ресурсосбережения.

Традиционными системами технологической автоматизации непрерывных сортовых станов являются системы управления скоростным режимом прокатки и системы раскроя проката [1].

Система управления скоростным режимом прокатки является основной системой технологической автоматизации непрерывного сортового стана.

Традиционно, в СССР разработкой таких систем занимались НИИАчермет и Институт черной металлургии (ИЧМ) [1-8]. В настоящее время работы в данном направлении ведутся в Национальном горном университете (НГУ) [9, 10].

¹ Национальный горный университет, д-р техн. наук, старший научн. сотр.

² Институт черной металлургии НАН Украины, канд. техн. наук, старший научн. сотр.

³ Национальный горный университет, канд. техн. наук, старший научн. сотр.

⁴ Национальный горный университет, старший научн. сотр.

⁵ Национальный горный университет, старший научн. сотр.

⁶ Национальный горный университет, канд. техн. наук, старший научн. сотр.

Интересно проследить, как эволюционировали данные системы по мере совершенствования технических средств и ужесточения требований по энерго- и ресурсосбережению на металлургических предприятиях.

До 90-х годов прошлого века основной задачей систем управления скоростным режимом прокатки являлось облегчение ручной настройки скоростного режима прокатки оператором и получение поперечных геометрических размеров проката в требуемом поле допусков.

Эта задача эффективно решалась локальными аналоговыми системами автоматической стабилизации режима прокатки (системы АСРП) за счет поддержания свободного прогиба проката в одном – трех последних межклетевых промежутках.

Ручная настройка скоростного режима прокатки осуществлялась с использованием первоначально аналоговых, а затем цифровых микропроцессорных систем задания скорости. Погрешность задания и согласованного изменения частоты вращения приводов клеток цифровыми системами составляла 1 об/мин, что соответствовало граничным возможностям оператора по точности настройки скоростного режима прокатки.

Однако, уже с начала 90-х годов в мировой практике появилась устойчивая тенденция к повышению точности поперечных размеров сортового проката [11-13]. Использование чистовых блоков и калибрующих клеток обеспечило разброс поперечных размеров круглого проката в пределах $\pm 0,1$ мм. Такая тенденция связана с тем, что основной объем круглого сортового проката подвергается дальнейшей калибровке, а повышение стабильности и точности поперечных размеров проката позволяет повысить стабильность процесса волочения, уменьшить количество проходов и расход волок. То есть, обеспечивает сокращение энергозатрат и потерь металла в метизном переделе.

Альтернативным направлением по повышению точности поперечных размеров круглого проката на действующих станах является повышение точности настройки скоростного режима прокатки за счет совершенствования систем управления скоростным режимом прокатки.

При производстве мелкосортного проката данная задача была решена за счет увеличения количества межклетевых промежутков с автоматической стабилизацией прогиба до шести и более, а также автоматической настройки в них скоростного режима прокатки [6, 7, 9, 10].

Автоматическая настройка скоростного режима прокатки позволила минимизировать динамику регулирования скоростного режима прокатки при автоматической стабилизации прогиба в межклетевых промежутках и обеспечила настройку скоростного режима прокатки в них после перевалок и переходов на первой заготовке при минимальном участии оператора. Фактически, одновременно с задачей повышения точности поперечных размеров мелкосортного проката была решена и задача минимизации потерь металла и времени на настройку скоростного режима непрерывной прокатки.

При производстве среднесортного и крупносортного проката проблема повышения точности его поперечных размеров пока еще не столь актуальна, как при производстве мелкосортного проката и катанки. Это связано с тем, основные его потребители – машиностроение и строительная промышленность, не получают сколь-нибудь заметной экономии от такого повышения, и поля допуска на поперечные размеры для такого проката достаточно велики.

Тем не менее, решение задачи по автоматизации настройки скоростного режима непрерывной прокатки больших профилей представляет интерес как для среднесортных и крупносортных станов, так и для черновых групп клеток мелкосортных станов. Погрешности настройки скоростного режима являются основными технологическими возмущениями при непрерывной прокатке [16]. Уменьшение технологических возмущений благоприятно влияет на смежные технологические операции. В частности, способствует повышению точности порезки проката летучими ножницами и, таким образом, позволяет сократить потери металла, связанные с этой операцией.

Задача настройки скоростного режима прокатки является, по сути, задачей выбора такого скоростного режима прокатки, при котором межклетевые усилия в прокате были бы минимально возможными. При производстве профилей большого сечения решение данной задачи лежит через идентификацию величин межклетевых усилий в прокате.

Возможные способы идентификации межклетевых усилий при сортовой прокатке рассмотрены в [17]. Однако, исследования на модели [18] и в производственных условиях [4] показали, что их использование в «классическом виде» позволяет осуществлять только «грубую» настройку скоростного режима прокатки. Поэтому автоматическое управление скоростным режимом прокатки, основанное на косвенных методах контроля межклетевых усилий используются, в основном, для начальной настройки скоростного режима прокатки. В дальнейшем, в

процессе прокатки, опытные операторы в ручном режиме проводят «тонкую» настройку скоростного режима прокатки.

Работы по повышению точности автоматической настройки скоростного режима прокатки профилей больших сечений проводятся в настоящее время в НГУ [19]. В их основе лежит получение более полной информации о величине межклетевых усилий в процессе прокатки на основе ситуационной статистической обработки контролируемых параметров и переход от поддержания (стабилизации) заданных межклетевых усилий к итерационному выбору рационального скоростного режима прокатки. Под рациональным скоростным режимом прокатки понимается такой режим, при котором изменения (колебания) межклетевых усилий в процессе прокатки заготовки минимальны и находятся в заданном диапазоне. Их практическое использование предлагается осуществить на базе действующей системы управления скоростным режимом прокатки [9, 10].

Итак, основной эффект энерго- и ресурсосбережения от систем управления скоростным режимом прокатки достигается на прокатных станах за счет сокращения непроизводительных потерь при настройке режима прокатки и у потребителя – за счет стабилизации, в минусовом поле допуска, поперечных размеров товарного проката.

Эффективность же систем раскроя проката в области энерго- и ресурсосбережения характеризуется косвенными потерями проката, или, используя терминологию стандартов ISO 9000, долей несоответствующей продукции, т.е. продукции с пониженными показателями качества.

При производстве сортового проката в стержнях – только в этом случае используется системы раскроя, условиями заказа оговариваются требования к длинам стержней в пачках. Все крупные заказы предусматривают поставку проката в стержнях заданной, мерной длины. Согласно стандартам, допускается поставка немерного проката – в стержнях длиной от шести до двенадцати метров.

Использование у потребителя проката немерной длины приводит к его дополнительным потерям на обрезь и затратам на сортировку. Поэтому цена на немерный прокат существенно ниже, чем мерной продукции.

В процессе производства стержней образуются стержни и менее шести метров – некондиционный прокат. Цена на некондиционный прокат еще ниже, чем на немерную продукцию. Зачастую некондиционный прокат рассматривается как металлический лом и направляется на вторичную переработку. Поэтому эффективность систем раскроя оценивается выходом мерной продукции – он должен быть максимально возможным, и долей некондиционного проката в общем объеме производства – она должна быть минимальна.

В основе функционирования систем раскроя лежит алгоритм составления раскройного плана для каждой заготовки, его реализация – алгоритм управления летучими ножницами, и алгоритм укладки отделяемых от проката прутков на настил холодильника [1, 20].

Как показали исследования, проведенные в ИЧМ, существенное влияние на выход меры оказывает алгоритм составления раскройного плана – способ раскроя. Другим фактором, определяющим выход меры, являются точность реализации раскройного плана, которая значительно зависит от типа, конструктивных особенностей летучих ножниц. И третьим фактором является точность укладки прутков на холодильник – она определяет величину зачистного реза пакета прутков за холодильником. При зачистном резе образуется некондиционный прокат, т.е., по сути, точность укладки прутков на холодильник определяет неизбежные потери мерной продукции при производстве проката в прутках.

В НГУ были проведены исследования, направленные на разработку принципов управления операциями производства проката в стержнях, которые обеспечивают максимально возможный выход мерного проката при любом составе оборудования выходной стороны сортопрокатного стана [21]. Исследования показали, что оптимальный алгоритм раскроя основывается на планировании потерь мерной продукции на уровне ее неизбежных потерь. При данном алгоритме относительная величина потерь мерной продукции не превышает отношение мерной длины к длине проката от одной заготовки на выходе из выпускной клетки. Если на стане предусмотрено оборудование для торцевания прутков, либо прутки торцуются «под упор» перед резкой на стержни, и для раскроя проката на прутки используются старт-стопные летучие ножницы, то относительная величина потерь мерной продукции должна быть примерно равной отношению половины мерной длины к длине проката.

Таким образом, основной эффект энергосбережения от автоматизации операций производства проката в прутках косвенный. Он заключается в сокращении затрат ресурсов и энергии на производство несоответствующей продукции – продукции пониженного качества.

Косвенный эффект ресурсосбережения может быть получен и при автоматизации процесса термоупрочнения арматурного проката.

Арматурный прокат является наиболее массовым видом сортопрокатной продукции. Использование при его производстве процесса термоупрочнения позволяет сократить использование дорогостоящих легирующих элементов для получения требуемого комплекса механических свойств [22]. Однако, термоупрочненный арматурный прокат имеет повышенный разброс механических свойств [23]. Отечественный стандарт на арматурный прокат класса А500С гармонизирован с технологией его производства и дает повышенные допуски на отклонения ряда параметров от их номинальных значений. Так, например, временное сопротивление разрыву арматурного проката может превышать номинальное значение до 300 Н/мм², тогда, как старым стандартом СССР допускалось превышение до 200 Н/мм². Современные зарубежные стандарты дают еще более жесткие допуски.

Повышенный разброс механических свойств термоупрочненного проката связан с многофакторной зависимостью комплекса механических свойств товарного проката от химического состава и условий термомеханической обработки заготовки.

Фактически, для уменьшения разброса механических свойств термоупрочненного проката режим термоупрочнения должен выбираться, исходя из химического состава прокатываемой стали и температурно-скоростных параметров прокатки. При настройке режима термоупрочнения необходимо учитывать неравномерность температуры и условий охлаждения проката по его длине и возможные отклонения химического состава заготовок от среднеплавочного из-за ликваций химических элементов в слитке.

Поэтому, в дальнейшей перспективе использование при производстве арматурного проката ресурсосберегающей технологии – процесса термоупрочнения, требует обеспечения эффективного автоматизированного контроля данного процесса.

Одним из направлений решения данной задачи является использование электромагнитного метода для автоматизированного контроля процесса термоупрочнения [24, 25]. Работы в данном направлении проводились в ИЧМ и НИИАчермет, в настоящее время ведутся в НГУ и доведены до промышленного использования. Автоматизированный контроль процесса термоупрочнения на основе электромагнитного метода позволяет комплексно оценить и провести коррекцию режима термоупрочнения для его более точной настройки [26, 27].

Выводы

Анализ основных систем технологической автоматизации непрерывных сортовых станов показал, что они эффективно решают задачи энерго- и ресурсосбережения.

Энерго- и ресурсосбережение системы технологической автоматизации обеспечивают за счет сокращения времени настройки режимов технологического процесса и повышения качественных характеристик товарного проката, уменьшения доли несоответствующей продукции в общем объеме производства. Технологическая автоматизация способствует также использованию в производстве эффективных ресурсосберегающих технологий.

Перечень ссылок

1. Автоматизация непрерывных мелкосортных станов / Праздников А.В., Егоров В.С., Гринберг С.Д. и др. – М.: Металлургия, 1975. – 216 с.
2. Стабилизация режима прокатки мелкого сорта с натяжением. / С.Д. Гринберг, Ю.П. Карпинский, О.Н. Кукушкин и др. // Автоматизация металлургического производства. – М.: Металлургия, 1973. – №1. – С.128-134.
3. Система управления скоростным режимом непрерывного проволочного стана / Ю.А. Динник, Н.П. Зубаков, Ю.П. Карпинский и др. // Автоматизация металлургического производства: сб. – М.: Металлургия, 1979. – №8. – С.85-86.
4. Система управления скоростным режимом прокатки / Р.В. Лямбах, В.И. Стахно, А.П. Егоров и др. // Сталь. – 1985. – № 3 – С.53-55.
5. Цифровая система управления скоростным режимом непрерывного сортового стана / В.И. Стахно, А.П. Егоров, В.С. Ткачев, В.Н. Куваев // Металлург. – 1983. – С.31-32.
6. Куваев В.Н. Система управления режимом непрерывной прокатки мелкосортной группы клетей стана 350/250 АО«Электросталь» / В.Н. Куваев, И.В. Политов, В.А. Чигринский // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 1998. – № 4. – С.87-91.
7. Освоение системы управления скоростным режимом прокатки в линии стана 350/250. / В.И. Калинин, М.Е. Кофман, В.Ф. Веселов, и др. // Сталь. – 2003. – № 2 – С.59-62.

8. Карпинский Ю.П. Опыт использования системы АСРП-И для автоматической стабилизации режима двухручьевого прокатки-разделения арматурной стали / Ю.П. Карпинский, М.И. Костюченко., В.Н. Куваев // *Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии: сб. науч. тр. / Ин-т черной металлургии НАН Украины.* – К: Наукова думка, 1999. – Вып.3. – С. 344-349
9. Система управления скоростным режимом прокатки сортовой линии мелкосортно-проволочного стана 250/150 ОАО «КТМК «Криворожсталь» / В.А. Шеремет, М.А. Бабенко, В.А. Щур и др. // *Металлургическая и горнорудная промышленность.* – 2004. – № 3. – С.104-110.
10. Системы управления скоростным режимом непрерывной прокатки сортовых станов / В.А. Шеремет, М.А. Бабенко, А.В. Скляр, и др. // *Металургійна наука – підприємствам Придніпров'я: зб. наук. пр.* – Дніпропетровськ.: Системні технології, 2005. – Вип. 2. – С.52-62.
11. Матвеев Б.Н. Некоторые особенности современных мелкосортных станов / Б.Н. Матвеев // *Сталь.* – 1998. – № 6. – С.35-41.
12. Матвеев Б.Н. Новое в производстве балок и сортовых профилей / Б.Н. Матвеев // *Сталь.* – 1999. – № 3. – С.35-40.
13. Матвеев Б.Н. Методы повышения качества сорта и катанки / Б.Н. Матвеев // *Производство проката.* – 2001. – №1. – С.40-47.
14. Галкин М.П. Реконструкция системы управления мелкосортным непрерывным станом / М.П. Галкин // *Черная металлургия: бюл. науч. техн. инф.* – М., 2000. – № 11-12. – с.50-53.
15. Куваев В.Н. Повышение точности настройки скоростного режима прокатки при оценке межклетевых усилий по току электропривода клетки / В.Н. Куваев // *Сб. науч. тр. НГА Украины / РИК НГА Украины.* – Днепропетровск, 2001. – № 11. – Т. 2. – с.209-213.
16. Куваев В.Н. Исследования возмущений скоростного режима прокатки с прогибом раската между клетями / В.Н. Куваев, Л.М. Коротенко // *Гірничя електромеханіка та автоматика: наук. техн. зб.* – Днепропетровск, 1998. – №1(60). – с.125-132.
17. Баур К. Применение ЭВМ для управления проволочными и мелкосортными станами / К. Баур // *Черные металлы.* – 1982. – № 8. – С.11-15.
18. Регулирование натяжения при сортовой прокатке / Бергер Б., Моммертц К.Х., Нойшютц Э. и др. // *Черные металлы.* – 1985. – №25. – С.22-29.
19. Куваев В.Н. Повышение точности настройки скоростного режима прокатки при оценке межклетевых усилий по току электропривода клетки / В.Н. Куваев // *Сб. науч. тр. НГА Украины / РИК НГА Украины.* – Днепропетровск, 2001. – №11. – Т. 2. – с.209-213.
20. Система автоматизированного управления раскромом раскатов на стане 250 / В.С. Егоров, О.Е. Потан, В.Н.Куваев, Н.П. Захаров, М.З. Хенкин // *Сталь.* – 1992. – № 11. – С.48-50.
21. Куваев В.Н. Принципы оптимального раскром мелкосортного проката на полосы / В.Н. Куваев // *Науковий вісник Національної гірничої академії України.* – 2002. – №2. – С.88-91.
22. Научные и технологические основы производства арматурных сталей нового поколения / Вихлевицук В.А., Дубина О.В., Поляков В.А., Сокуренок А.В. и др. – К.: Наукова думка, 2001. – 158 с.
23. Мадатян С.А. Арматура железобетонных конструкций / С.А. Мадатян. – М.: Воентехлит. – 2000. – 256 с.
24. Контроль процесса термомеханической обработки арматурной стали в потоке мелкосортного стана / В.А. Чигринский В.А., В.А. Пирогов, В.Н. Куваев, и др.// *Металлургическая и горнорудная промышленность.* – 1999. – № 6. – С.42-44.
25. Электромагнитный контроль процесса термоупрочнения проката крупных сечений / В.А. Шеремет, М.А. Бабенко, А.В. Кекух и др. // *Металлургическая и горнорудная промышленность.* – 2004. – № 6. – С.102-105.
26. Куваев В.Н. Методологические основы контроля режима термоупрочнения арматурного проката электромагнитным методом / В.Н. Куваев, В.А. Чигринский, Д.А. Иванов // *Гірничя електромеханіка та автоматика: наук.-техн. зб.* – 2005. – Вип.75 – С.109-114.
27. Пат. 71817 А Україна, МКИ В21В37/10. Спосіб управління процесом термозміцнення прокату з прокатного нагрівання / М.А. Бабенко, Ю.П. Карпинский, М.И. Костюченко и др. – №20031212716; Заявлено 29.12.2003; Опубл. 15.12.2004, Бюл.№12, 2004 р.

Рецензент: О.Н. Кукушкин,
д-р техн. наук, проф.,
Национальная металлургическая академия Украины

Статья поступила 18.02.2008