

ния металла на валки, которые возникают при прокатке профилей с разной геометрией центральной части (ровная и волнообразная).

Таким образом, регулируя кинематику течения металла процессом пластической деформации можно управлять.

Полученный результат представляет собой количественную модель эффекта, который дает новые технологические возможности прокатки сортовых профилей разного назначения. Снижение давления на валки приводит к уменьшению пружины клетки и, отсюда, уменьшению толщины раската. Появляются условия для прокатки тонкостенных профилей, за счет появившейся возможности «выдавить» профиль по толщине.

Список литературы: 1. Чигиринский В.В. Экспериментальное исследование моментов сил при стремлении полосы к искривлению на входе в очаг деформации и выходе из него // Изв.вузов. Черная металлургия.-1983.-№11.- С.85-88.

УДК 669.013

СТАЛИНСКИЙ Д.В., докт. техн. наук, УкрГНТЦ «Энергосталь»,
РУДЮК А.С., канд. техн. наук, УкрГНТЦ «Энергосталь», г. Харьков
МЕДВЕДЕВ В.С., канд. техн. наук, УкрГНТЦ «Энергосталь»,
КРЮКОВ Ю.Б., УкрГНТЦ «Энергосталь», г. Харьков

ВОПРОСЫ РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЯ И ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИ СОЗДАНИИ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ МИКРО-ЗАВОДОВ

Рассмотрены вопросы ресурсосбережения и энергоэффективности при создании металлургических микрозаводов. Определены рациональные пути экономии энергетических и материальных ресурсов, дан анализ наиболее перспективным энерго- и ресурсосберегающим технологиям производства фасонных профилей малотоннажными партиями.

Ключевые слова: микрозавод, экономичные профили, малотоннажные партии, ресурсосбережение, энергоэффективность

Розглянуто питання ресурсозбереження й енергоефективності при створенні металургійних мікрозаводів. Визначено раціональні шляхи економії енергетичних і матеріальних ресурсів, даний аналіз найбільш перспективним енерго- і ресурсозберігаючим технологіям виробництва фасонних профілів малотоннажними партіями.

Ключові слова: мікрозавод, економічні профілі, малотоннажні партії, ресурсозбереження, енергоефективність

Issues of resource-saving and power efficiency at setting-up iron and steel micro-plants are considered. Rational ways to save power and material resources are specified, the most perspective power- and resource-saving technologies for producing shaped sections by small-tonnage lots are analyzed.

Keywords: micro-plant, economical sections, small-tonnage lots, resource-saving, power-efficiency

1. Введение

Микрозавод – это небольшой мощности, компактный, гибкий и легко переналаживаемый литейно-прокатный комплекс с возможностями удовлетворения быстро меняющегося спроса на продукцию [1].

В силу небольших объемов производства, на микрозаводах сложно достичь таких же высоких удельных показателей работы металлургических агрегатов, как на крупных металлургических предприятиях. Поэтому вопросы энерго- и ресурсосбережения для микрозаводов являются первостепенными. Без комплексного

решения вопросов ресурсосбережения и энергоэффективности микрозаводы теряют свои конкурентные преимущества и становятся экономически нецелесообразными. Следует отметить, что помимо чисто экономических преимуществ, использование энерго- и ресурсосберегающих технологий также обеспечивает существенное улучшение экологических показателей работы микрозаводов.

2. Постановка проблемы

Микрозаводы в основном предназначены для производства экономичных фасонных профилей широкого сортамента, поставляемых малотоннажными партиями. Обеспечение рентабельности такого предприятия гарантируется высокой ценой на малотоннажные фасонные профили проката, которая в 2–3 раза превышает цену на рядовой прокат. Повышение рентабельности может быть достигнуто за счет использования местных сырьевых ресурсов, топлива и электроэнергии, сокращения транспортных расходов, а также использования существующих зданий, сооружений и других объектов инфраструктуры. Микрозаводы небольшой мощности можно максимально приблизить к потребителям металлопродукции, что позволяет сократить путь от производителя к потребителю, минуя посредников, чья прибыль, может быть получена непосредственно производителем, а это является дополнительным фактором повышения экономической эффективности производства.

При анализе ресурсосбережения и энергоэффективности микрозаводов следует иметь в виду ресурсосберегающую и энергетическую эффективность выпускаемой продукции. Так, экономия металла у потребителя в среднем от применения одной тонны фасонного проката специального назначения составляет 15 %. Соответственно снижаются расход сырья и энергии, а также сокращаются вредные выбросы.

Еще больший эффект достигается при производстве специальных видов проката повышенной готовности. Характерным примером такой технологии является производство периодических профилей для малолистовых рессор. Так, металлоемкость малолистовой рессорной подвески, по сравнению с обычной, ниже на 30–50 %, а долговечность в 1,5–2,0 раза выше за счет исключения фреттинг-коррозии листов при уменьшении их количества в 3–5 раз [2]. Следует также учитывать, что снижение металлоемкости подвески приводит к экономии трудовых и энергетических затрат у изготовителя рессор, снижению расхода топлива, шин, вибронгруженности и повышению плавности хода, улучшению комфортабельности, увеличению надежности и долговечности автомобиля в целом.

Таким образом, энергоресурсосберегающий и экологический эффект от экономических профилей проката достигается как на стадии их производства на металлургических заводах, так и при использовании профилей у потребителей металлопродукции.

Микрозаводы по сути своей являются ресурсосберегающими, поскольку исходным сырьем для них является вторичное сырьё - металлолом и отсутствуют переделы, предшествующие сталеплавильному, что резко сокращает расход ресурсов и энергоносителей на производство единицы продукции.

На современных микрозаводах практически на каждом этапе технологического процесса используются ресурсосберегающие энергоэффективные технологии, такие как выплавка стали в дуговых электропечах постоянного тока, непрерывная разливка стали, совмещение непрерывной разливки с прокаткой (горячий посад); использование гибких безинерционных способов нагрева металла; оптимизацию сече-

ний и массы исходных заготовок, температурных и деформационно-скоростных режимов прокатки; низкотемпературную и контролируемую прокатку; термическую обработку с использованием тепла прокатного нагрева; совершенствование схем расположения оборудования прокатных станов и другие.

Наиболее мощными экологическими и энерго- и ресурсосберегающими факторами являются производство сортового проката из непрерывнолитых заготовок и совмещение непрерывной разливки стали и прокатки заготовок с использованием тепла разливки [3, 4]. Переход прокатных станов на использование непрерывнолитых заготовок позволяет увеличить на 10–15 % выход годного, снизить расход стали при производстве проката в среднем на 200–289 кг/т, уменьшить на 20–40 % затраты на топливно-энергетические ресурсы [5].

По оценкам экономистов, 80 % энергии в прокатном производстве затрачивается на обычный нагрев металла до 1150 °С, 17 % – на прокатку и только 3 % – на вспомогательные операции. Поэтому разрабатываемые мероприятия по энергосбережению должны в первую очередь быть направлены на совершенствование технологии нагрева металла под прокатку и нагревательного оборудования. В технологической части усилия должны быть направлены как на повышение эффективности самого нагрева металла с максимально возможным сокращением тепловых потерь, так и на утилизацию тепла.

При непрямом совмещении непрерывной разливки стали и прокатки с использованием тепла разливки нагревательная печь загружается горячими заготовками (500–850 °С), поступающими с МНЛЗ.

Кроме того, возможна прямая прокатка, когда полученные на МНЛЗ заготовки достаточно большого сечения (с температурой 950–1000 °С) подаются для прокатки непосредственно в первую (обжимную) клетку сортового стана. При этом, для уменьшения нагрузок на черновые и промежуточные клетки сортового стана, может использоваться индукционный подогрев металла. В результате внедрения данной технологии обеспечивается экономия тепла до 80 %.

Специфика работы микрозаводов превращает в востребованные гибкие безинерционные способы индукционного нагрева металла.

Приведем сравнение энергозатрат и экономической эффективности нагрева металла в газовых и индукционных нагревательных устройствах. В качестве примера нагреву до температуры 1200 °С подвергаются холодные заготовки сечением 85х85 мм длиной 1500 мм. Полезная мощность на нагрев металла с производительностью 5 т/час составляет 1200 кВт. Эта мощность одинакова при любом способе нагрева. С учетом теплового коэффициента полезного действия (КПД) в газовых печах, равном 0,2, затраты энергии на нагрев заготовок составят 6000 кВт, что эквивалентно расходу природного газа 600 м³/ч. При индукционном нагреве металла тепловой КПД можно принять равным 0,66, при этом затраты энергии на нагрев металла – 1810 кВт. Таким образом, экономия энергии при индукционном нагреве – 69,9 %. Срок окупаемости капитальных затрат – 2 года.

Применение индукционных нагревательных устройств обеспечивает высокоскоростной нагрев металла практически без угара и затрат электроэнергии на холостом ходу. Индукционный нагрев металла особенно эффективен на станах, где имеют место частые простои при перевалках, переходах с профиля на профиль, настройках стана и др.

Технология производства сортового проката на новых и действующих прокатных станах микрозаводов должна осуществляться из заготовок оптимальных размеров сечения и массы. Это обеспечит уменьшение расходного коэффициента металла, снижение угара металла, уменьшение количества окалины на 30–60 % и величины концевой обреза – от 20 до 70 % за счет увеличения выхода мерных длин в зависимости от вида выпускаемой продукции.

Для снижения расхода энергии при производстве проката исходные заготовки должны иметь минимальное сечение. В этом случае суммарная работа деформации будет минимальной. Кроме того, уменьшаются диаметры рабочих валков и количество рабочих клетей, а, следовательно – масса и стоимость оборудования стана в целом. Однако имеется ряд технологических ограничений, не позволяющих уменьшать сечение заготовок ниже определенного предела. Выбор сечения исходных заготовок в каждом конкретном случае должен осуществляться с учетом этих ограничений. Рекомендуемые размеры квадратных заготовок для мелкосортных станов микрозаводов от 65x65 до 120x120 мм (в зависимости от объемов производства и марочного сортамента).

Экономия энергоресурсов может достигаться также путем внедрения рациональных температурно-скоростных и деформационных режимов прокатки и совершенствования оборудования прокатных станов.

Одним из таких мероприятий является низкотемпературная прокатка, при которой температура нагрева металла на 200–250 °С ниже, чем при обычной прокатке. Проведенные исследования и расчеты показывают, что при снижении температуры нагрева металла с 1200–1270 °С до 1000–1050 °С экономия топлива составляет 110–130 кВт·ч/т (400–470 МДж/т). Затраты электроэнергии на прокатку возрастают на 15–18 кВт·ч/т. Однако суммарная экономия энергоресурсов составляет 12–15 % [6].

Применение низкотемпературной прокатки на сортовых станах сопровождается ростом усилий и моментов прокатки, увеличением износа прокатных валков. Следовательно, внедрению этой технологии должен предшествовать тщательный анализ изменения энергосиловых параметров прокатки. Особенно это касается прокатки тонкостенных профилей.

К ресурсо- и энергосберегающим технологиям следует отнести и термическую обработку с использованием тепла прокатного нагрева, поскольку, во-первых, за счет термической обработки повышаются служебные свойства металлопродукции, что ведет к экономии металла, – во-вторых, собственно термообработка не требует дополнительного (повторного) нагрева, т.е. рационально использует тепло прокатного нагрева, чем обеспечивается экономия энергоресурсов и снижение вредных выбросов. В-третьих, сокращаются потери металла на образование окалины, что особенно актуально при производстве профилей с малыми размерами поперечного сечения (арматура и катанка). Кроме того, экономятся значительные производственные площади и уменьшается количество оборудования.

Одним из основных направлений совершенствования сортопрокатного производства может стать разработка и внедрение энергосберегающих технологических процессов термомеханической обработки и их разновидностей – контролируемой или регулируемой прокатки.

Рациональная технология контролируемой прокатки обеспечивает стабилизацию технологического процесса, что очень важно для автоматического регулирова-

ния температуры металла и собственно технологического режима, а в конечном итоге – для получения проката с заданным уровнем свойств.

Разработанные в УкрГНТЦ «Энергосталь» теоретические методы расчета деформационно-скоростных и энергосиловых параметров прокатки, алгоритмическое и программное обеспечение систем автоматизированного проектирования позволяют проектировать рациональные технологические режимы регулируемой (контролируемой) прокатки [4].

Регулируемая прокатка с деформационным разогревом, в свою очередь, позволяет получать готовые профили более высокого качества, чем при холодной прокатке (за счет одновременного улучшения прочностных и пластических свойств металла). Все это позволяет совершенствовать технологию на стане любой конструкции, более эффективно внедрять регулируемую прокатку, повышающую механические характеристики металла, производить профили любой сложности, расширять и усложнять их сортамент, обеспечить повышение качества и точности проката, экономию металла и снижение энергозатрат, стабилизировать сбыт продукции и функционирование экологически чистого производства.

Таким образом, применение низкотемпературной контролируемой прокатки с интенсивным деформационным режимом обеспечивает снижение выбросов в атмосферу, а также образование шлаков и золы.

При непрерывной прокатке наибольшее падение температуры раската наблюдается в первых проходах. Из-за малой скорости прокатки значительная часть тепла расходуется на излучение и конвекцию во время пауз между проходами. Увеличение скорости прокатки, как правило, невозможно из-за необходимости соблюдения константы калибровки и возрастания мощности прокатки в черновых клетях. Использование малогабаритных обжимных блоков позволяет частично решить эту проблему. Так, при прокатке в блоке с расстоянием между клетями 1100–1300 мм (по сравнению с обжимной группой с расстоянием между клетями 3000 мм), падение температуры раската уменьшается на 2,4 %, а мощность прокатки – на 5 %. Следует отметить, что экономия энергии в этом случае достигается без увеличения расхода инструмента и степени загрузки оборудования, что характерно для низкотемпературной прокатки. При проектировании новых станов эффект от применения блоков усиливается за счет уменьшения длины стана и снижения массы оборудования, в т. ч. и вспомогательного (межклетьевые столы, рольганги и др.).

Процесс горячей прокатки характеризуется разогревом раската в процессе деформации. С увеличением скорости прокатки на непрерывных станах разогрев превышает потери тепла, что приводит к повышению температуры раската, а следовательно, не только к нерациональному расходу энергии на прокатку, но и ухудшению структуры и механических свойств, а также увеличению затрат энергии на охлаждение проката. В идеальном случае температура проката должна оставаться постоянной, близкой к температуре конца прокатки. Наиболее простой путь регулирования температуры раската – за счет скоростного режима прокатки. Снижение скорости прокатки в чистовых клетях непрерывных станов ведет к резкому снижению стойкости валков черновых клетей. На полунепрерывных станах, как правило, производительность непрерывной группы стана значительно выше производительности обжимной клетки, что дает возможность существенно снизить затраты энергии и скорость прокатки. Проведенные расчеты показывают, что для условий микрозаводов прокатка на полунепрерывном стане с использованием рациональных температурно-

скоростных режимов обеспечивает снижение расхода энергии на деформацию металла до 40 % по сравнению с прокаткой на непрерывном стане.

С использованием изложенных принципов в УкрГНТЦ «Энерго-сталь» разработаны 5 типов микрозаводов для производства экономичных профилей проката в объеме от 15 до 120 тыс. т в год.

Таким образом, комплексное решение вопросов ресурсосбережения и энергоэффективности путём внедрения энерго- и ресурсосберегающих технологий на всех стадиях технологического процесса позволяет достичь высокой экономической эффективности металлургических микрозаводов.

Список литературы: 1. Грищенко С.Г. Металлургические микрозаводы – решение проблемы производства фасонного проката малотоннажными партиями [Текст] / С.Г. Грищенко, Д.В. Сталинский, А.С. Рудюк и др. // Сталь. – 2008. – № 9. – С. 53–56. 2. Комаров А.Н. Способы производства профилей для малолистовых рессор [Текст] / А.Н. Комаров, А.Н. Литвин, В.И. Табака // Труды пятой международной научно-технической конференции «Теоретические проблемы прокатного производства» (г. Днепропетровск, 16–18 мая 2000 г.); Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2000. – № 8–9. – С. 228–230. 3. Медведев В.С. Энергосберегающие технологии производства сортовых профилей на литейно-прокатных комплексах металлургических мини-заводов [Текст] / В.С. Медведев // Экология и промышленность. – 2008. – № 3. – С. 64–69. 4. Комплексное автоматизированное проектирование калибровок валков для прокатки сортовых профилей на базе типовых программных модулей [Текст] / В.С. Медведев, С.Б. Стрюков // Труды пятой международной научно-технической конференции «Теоретические проблемы прокатного производства» (г. Днепропетровск, 16–18 мая 2000 г.); Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2000. – № 8–9. – С. 198–201. 5. Разработка программы и технико-экономических показателей использования в сортопрокатном производстве непрерывнолитой заготовки с учетом технического уровня металлургического оборудования, существующего и перспективного марочного и размерного сортамента проката: отчет о НИР [Текст] / УкрНИИМет. – Харьков, 1995. – 94 с. – № ГР 01944022123. 6. Вакула Л.А. Энергоэкономия при низкотемпературной прокатке та його вплив на якість металу і експлуатацію устаткування [Текст] / Л.А. Вакула, А.С. Рудюк // Экология и промышленность. – 2007. – № 4. – С. 54–59.

УДК 621.777

ТРИШЕВСКИЙ О.И., док.техн. наук, проф., ХНТУСХ им. П.Василенко,
ПЛЕСНЕЦОВ С.Ю., студент, НТУ «ХПИ»

ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ФОРМОВКИ СПЕЦИАЛЬНЫХ ПРОФИЛЕЙ С МЕСТАМИ ИЗГИБА НА 180°

Выполнен анализ напряженно-деформированного состояния металла при изгибе на 180° с использованием метода механики сплошных сред. На основании исследования распределения утонения в местах изгиба полосы при ее формоизменении получены поле скоростей движения частиц металла и компоненты скоростей деформации.

Ключевые слова: изгиб на 180°, механика сплошных сред, напряженно-деформированное состояние

Виконано аналіз напружено-деформованого стану металу при його згинанні на 180° із використанням методу механіки суцільних середовищ. На підґрунті дослідження розподілу тоншення в місцях згину полоси під час її формозмінення отримано поле швидкостей руху частинок металу та компоненти швидкості деформації.

Ключові слова: згин на 180°, механіка суцільних середовищ, напружено-деформований стан