

УДК 669.013

**Д.В. СТАЛИНСКИЙ**, д.т.н., генеральный директор, **А.С. РУДЮК**, к.т.н., заместитель генерального директора, директор НИИ «УкрНИИМет»,

**В.С. МЕДВЕДЕВ**, к.т.н., заведующий отделом, **Ю.Б. КРЮКОВ**, ведущий научный сотрудник Украинский государственный научно-технический центр «Энергосталь» (УкрГНТЦ «Энергосталь»), г. Харьков

## АСПЕКТЫ ЭКОЛОГИИ, ЭНЕРГО- И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЯ ПРИ СОЗДАНИИ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ МИКРОЗАВОДОВ \*

Рассмотрены вопросы экологии, энерго- и ресурсосбережения при создании металлургических микрозаводов. Определены рациональные пути сокращения вредных выбросов, дан анализ наиболее перспективных энерго- и ресурсосберегающих технологий производства фасонных профилей малотоннажными партиями, включая прокатку профилей из непрерывнолитых заготовок, совмещение непрерывной разливки с прокаткой (горячий посад), использование гибких безынерционных способов нагрева металла, оптимизацию сечений и массы исходных заготовок, температурных и деформационно-скоростных режимов прокатки и других параметров.

**микрозавод, экономичные профили, малотоннажные партии, экология, энерго- и ресурсосберегающие технологии**

На современном этапе развития металлургии экологические требования к металлургическим предприятиям имеют огромное, а иногда и решающее значение, особенно в связи с созданием металлургических микрозаводов, поскольку они располагаются в непосредственной близости к потребителям металлопродукции.

Соблюдение экологических требований оказывает существенное влияние на финансовую сторону проектов. Так, согласно решению Европейской экономической комиссии ООН, принятому на семинаре «Экологические аспекты применения чистых технологий, рационального использования энергоресурсов и утилизации отходов в черной металлургии», внешние кредиты на реконструкцию предоставляются при наличии экологической программы как составной части бизнес-плана предприятия.

На экологическую обстановку в районе металлургического микрозавода существенное влияние оказывает уровень совершенства технологий, заложенных при проектировании завода. Мировой опыт показал, что наиболее эффективным способом снижения негативного воздействия на окружающую природную среду является не очистка выбросов, а их снижение за счет использования энерго- и ресурсосберегающих, а также других, более эффективных технологий. Помимо чисто экологических преимуществ, такой подход обеспечивает существенное улучшение технико-экономических показателей работы заводов.

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

Микрозавод – это небольшой мощности, компактный, гибкий и легко переналаживаемый литейно-прокатный комплекс с возможностями удовлетворения быстро меняющегося спроса на продукцию [1]. 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, в 2–3 раза превышающей цену на рядовой прокат. Повышение рентабельности может быть достигнуто за счет использования местных сырьевых ресурсов, топлива и электроэнергии, сокращения транспортных расходов. Время окупаемости строительства таких заводов может быть сокращено за счет использования существующих зданий, сооружений и других объектов инфраструктуры. Микрозаводы небольшой мощности можно максимально приблизить к потребителям металлопродукции, что позволит сократить путь от производителя к потребителю, минуя посредников. Общий вид металлургического микрозавода с объектами инфраструктуры показан на рис. 1, технологические схемы – на рис. 2, 3.

\*Статья опубликована по материалам XVII Международной научно-практической конференции «Экология, энерго- и ресурсосбережение, охрана окружающей среды и здоровье человека, утилизация отходов», г. Щелкино, АР Крым, 2009 г.

© Д.В. Сталинский, А.С. Рудюк, В.С. Медведев, Ю.Б. Крюков



**Рисунок 1 – Общий вид металлургического микроразвода с объектами инфраструктуры**

- 1 – градирня оборотного водоснабжения, 2 – газоочистка,
- 3 – электроподстанция, 4 – склад готовой продукции,
- 5 – прокатный цех, 6 – электросталеплавильный цех с МНЛЗ

При анализе экологических, энерго- и ресурсосберегающих аспектов деятельности металлургических микроразводов следует иметь в виду и ресурсосберегающую эффективность выпускаемой продукции. Так, экономия металла потребителя от применения одной тонны фасонного проката специального назначения в среднем составляет 15 %. Соответственно снижаются расходы 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 изготовителями рессор, снижению расхода топлива, шин, виброн нагруженности и повышению плавности хода, улучшению комфортабельности, увеличению надежности и долговечности автомобиля в целом.

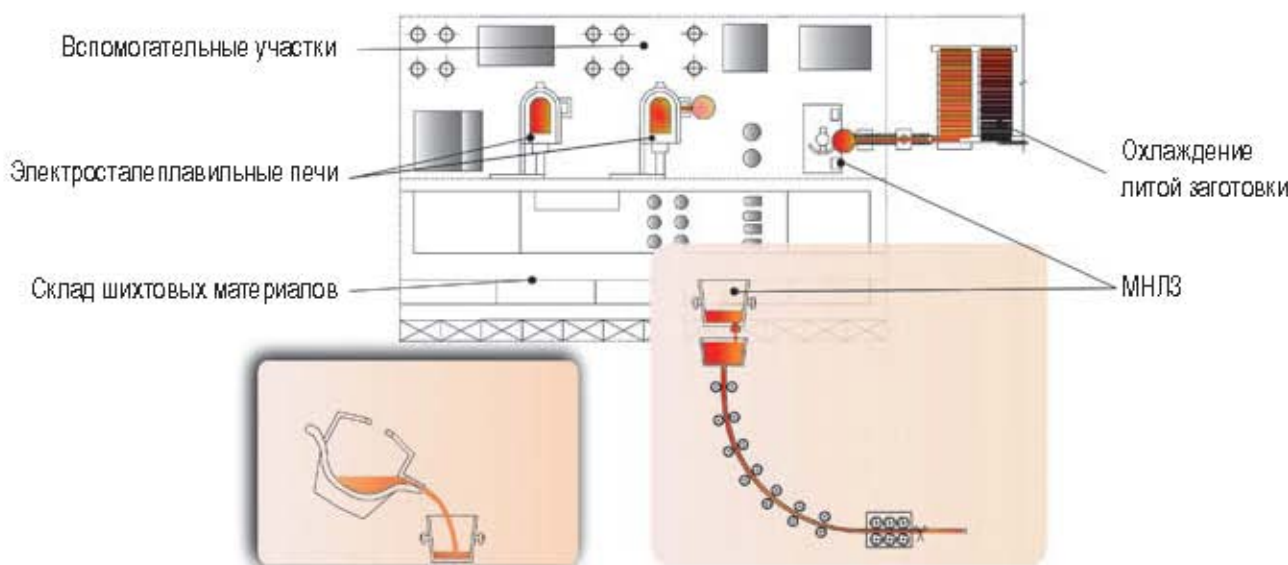
Таким образом, экологический, энерго- и ресурсосберегающий эффект от экономичных профилей проката достигается как на стадии их производства (на металлургических микро-заводах), так и при использовании профилей потребителями.

Микроразводы экологически более чистые, чем предприятия полного металлургического цикла (табл. 1), поскольку для микроразводов в исходным сырьем служит металлолом и отсутствуют переделы, предшествующие сталеплавильному производству, что резко сокращает выбросы в атмосферу [3].

**Таблица 1 – Удельные вредные выбросы в атмосферу на металлургических заводах разного типа, кг/т**

Выбросы на одну тонну проката, кг	Пыль	SO <sub>x</sub>	NO <sub>x</sub>	CO
Комбинаты	18,0	2,27	0,18	19,9
Микроразводы	0,14	0,32	0,05	1,8

К основным современным энергосберегающим технологиям в производстве проката на микроразводах следует отнести прокатку профилей из непрерывнолитых



**Рисунок 2 – Технологическая схема выплавки и разливки стали с использованием машины непрерывного литья заготовок (МНЛЗ)**

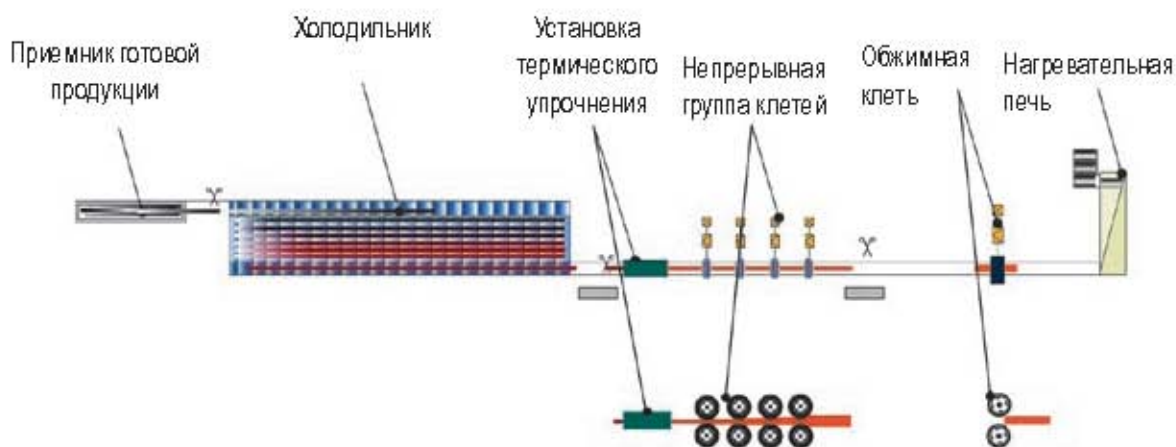


Рисунок 3 – Технологическая схема производства проката

заготовок; совмещение непрерывной разливки с прокаткой (горячий посад); использование гибких безынерционных способов нагрева металла; оптимизацию сечений 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 станков и другие технологии.

Наиболее мощными экологически позитивными энерго- и ресурсосберегающими технологическими направлениями являются производство сортового проката из непрерывнолитых заготовок и совмещение непрерывной разливки стали и прокатки заготовок с использованием тепла разливки [4, 5]. Переход прокатных станков 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 [6].

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 быть направлены в первую очередь 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 до 80 % тепла.

С учетом специфики работы микрозаводов гибкие безынерционные способы индукционного нагрева металла оказываются востребованными.

Приведем сравнение энергозатрат и экономической эффективности нагрева металла в газовых и индукционных нагревательных устройствах. В качестве примера рассмотрим ситуацию, когда нагреву до температуры 1200 °С подвергаются холодные заготовки сечением 85x85 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 м<sup>3</sup>/час. 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 %. Оценочный 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 переделках, 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, уменьше-

ние количества окалины на 30–60 % и величины концевой обрезки – 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 микроразводов – 65–120 мм х 65–120 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 в УкрГНТЦ «Энергосталь» исследования и расчеты показывают, что при снижении температуры нагрева металла с 1200–1270 °С до 1000–1050 °С экономия топлива составляет 110–130 кВт час/т (400–470 МДж/т). Однако при этом возрастают затраты электроэнергии на прокатку на 15–18 кВт час/т. Суммарная экономия энергоресурсов составляет 12–15 % [7].

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 фасонных 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 ее разновидностей – контролируемой или регулируемой прокатки.

Рациональная технология контролируемой прокатки обеспечивает стабилизацию технологического процесса, что особенно важно для автоматического регулирования 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 [5].

Регулируемая прокатка с деформационным разогревом 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, обеспечивать повышение качества и точности проката, экономию металла и снижение энергозатрат, стабилизировать сбыт продукции и снижать негативную нагрузку на окружающую природную среду.

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 таких блоков

усиливается за счет уменьшения длины стана и снижения массы оборудования, в т.ч. и вспомогательного (межклетьевые столы, рольганги и др.).

Процесс горячей прокатки сопровождается разогревом раската в процессе деформации. С увеличением скорости прокатки на непрерывных станах разогрев превышает потери тепла, что приводит к повышению температуры раската, ухудшению структуры и механических свойств металла, 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. На полунепрерывных станах, как правило, производительность непрерывной группы стана значительно выше производительности обжимной клетки, что дает возможность существенно снизить затраты энергии и скорость прокатки. При этом существенно сокращается расход энергии на холостой ход клетей.

Для компенсации потерь тепла раскатом малого сечения перед непрерывной группой целесообразно устанавливать неотапливаемый термостат.

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).

## ВЫВОДЫ

Основным направлением улучшения экологической обстановки на металлургических микрозаводах является внедрение энерго- и ресурсосберегающих технологий, включающих прокатку профилей из непрерывнолитых заготовок, совмещение непрерывной разливки с прокаткой (горячий посад), использование гибких безынерционных способов нагрева металла; оптимизацию сечений и массы исходных заготовок, температурных и деформационно-скоростных режимов прокатки и пр.

Розглянуто питання екології енерго- та ресурсозбереження при створенні металургійних мікрозаводів. Визначені раціональні шляхи скорочення шкідливих викидів, надано аналіз найбільш перспективних енерго- та ресурсозберігаючих технологій виробництва фасонних профілів малотоннажними партіями, включаючи прокатку профілів з безперервнолитих заготовок, поєднання безперервного розливу з прокаткою (горячий посад), використання гнучких безінерційних способів нагріву металу, оптимізацію перерізів і маси вихідних заготовок, температурних та деформаційно-швидкісних режимів прокатки та інших параметрів.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Грищенко С.Г. Металлургические микрозаводы – решение проблемы производства фасонного проката малотоннажными партиями / 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 / А.Н. Комаров, А.Н. Литвин, В.И. Табака // Теоретические проблемы прокатного производства : труды пятой междунар. науч.-техн. конф., г. Днепропетровск, 16–18 мая 2000 г.; Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2000. – № 8–9. – С. 228–230.
3. Девитайкин А.Г. Экологические преимущества электросталеплавильных мини-заводов / А.Г. Девитайкин, А.Н. Попов, В.Д. Смоляренко // Сталь. – 2006. – № 3. – С. 38–39.
4. Медведев В.С. Энергосберегающие технологии производства сортовых профилей на литейно-прокатных комплексах металлургических мини-заводов / В.С. Медведев // Экология и промышленность. – 2008. – № 3. – С. 64–69.
5. Медведев В.С. Комплексное автоматизированное проектирование калибровок валков для прокатки сортовых профилей на базе типовых программных модулей / В.С. Медведев, С.Б. Стрюков // Теоретические проблемы прокатного производства : труды пятой междунар. науч.-техн. конф., г. Днепропетровск, 16–18 мая 2000 г.; Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2000. – № 8–9. – С. 198–201.
6. 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 / УкрНИИМет. – Харьков, 1995. – 94 с. – № ГР 01944022123.
7. Вакула Л.А. Энергозбереження при низькотемпературній прокатці та його вплив на якість металу і експлуатацію устаткування / Л.А. Вакула, О.С. Рудюк // Экология и промышленность. – 2007. – № 4. – С. 54–59.

*Поступила в редакцию 15.04.2009*

The paper concerns the questions of environmental, energy- and resource-saving at setting up metallurgical micro-plants. Rational ways enable decreasing harmful emissions are designated, analysis of the most advanced energy- and resource-saving technologies for producing shaped sections by small-tonnage lots, including rolling of sections from continuous casting billets, combining continuous casting with rolling (hot landing), use flexible inertialess ways of metal heating, optimization of sections and weights of initial billets, both temperature and deformation- velocity modes of rolling and other parameters is given.