

ЭТАПЫ РАЗВИТИЯ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЙ В ЧЕРНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ

МИНАЕВ А.А., КОНОВАЛОВ Ю.В. (ДонГТУ)

Описаны этапы развития энергосберегающих технологий в металлургии. Дана классификация литейно-прокатных модулей (ЛПМ) и представлены схемы тонко-, средне- и толстослябовых ЛПМ.

Стремление к снижению энергоемкости производства мотивируется тем, что удельные капитальные вложения, необходимые для экономии топливно-энергетических ресурсов, в два раза меньше удельных вложений, требуемых для прироста их добычи. Примерно 20 лет тому назад был сделан тревожный прогноз: к концу 90-х годов человеческая деятельность начнет испытывать серьезные ограничения не из-за нехватки энергетических ресурсов, которые практически неисчерпаемы, а из-за экологических последствий их использования. Такое ограничение характерно для всех трех основных видов энергетики.

Теплоэнергетика. Дает большое количество твердых выбросов, кислотные дожди, а самое главное — создает угрозу потепления на планете в результате накопления углекислого газа, вызывающего «тепличный эффект». Кроме того, добыча нефти, газа (в большей степени) и угля (в меньшей степени), наносят большой вред окружающей среде.

Гидроэнергетика. Основные потери связаны с заливом в большинстве случаев плодородных земель, ухудшением условий для разведения рыб, нарушением веками установленных взаимодействий природных явлений в системах: река — море, река — озеро.

Атомная энергетика. Радиоактивные отходы безопасно складировать в настоящее время чрезвычайно затруднительно и дорого. Как показала практика, аварии на АЭС не исключены, а последствия их даже трудно оценить — настолько они велики.

Таким образом, экологическая сторона энергетики в еще большей степени, чем экономическая диктует необходимость энергичного поиска путей снижения расхода энергоресурсов и кратчайшей их реализации в мировом хозяйстве.

Черная металлургия является одной из наиболее энергоемких отраслей промышленности. В промышленно развитых странах потребление энергии в черной металлургии составляет 15–20% от общих энергозатрат в промышленности. Поскольку сталь была и остается наиболее приемлемым конструкционным материалом и прогнозы показывают, что на ближайшие 20–30 лет объемы выплавки стали при некоторых колебаниях в большую или меньшую сторону в целом будут несколько повышаться, то разработка и реализация энергосберегающих технологий в черной металлургии чрезвычайно актуальна. Следует отметить, что главный толчок для разработки и реализации энергосберегающих технологий в металлургии дал энергетический кризис 70-х годов. Однако и до него стремление снизить энергозатраты имело место.

К настоящему времени можно отметить три этапа разработки и реализации технических, технологических и организационных решений, направленных на решение проблемы энергосбережений.

Первый этап. Разработка и реализация отдельных взаимнонеувязанных решений в цехах, отделениях и на участках металлургических предприятий (до 70-х годов).

Второй этап. Разработка кардинальных решений совершенствования самой схемы технологического процесса (горячий посад, прямая прокатка и др.). Реализация решений по снижению потерь энергии во всей металлургической цепочке (70—80-е годы).

Третий этап. Создание и введение в действие литейно-прокатных модулей (конец 80-х годов).

Прежде, чем рассматривать каждый из этих этапов в отдельности, следует отметить, что расход топлива в горнорудном, коксохимическом и доменном производствах составляет от 62% (США) до 73% (Япония) общего его потребления в черной металлургии (в бывшем Советском Союзе эта цифра составляла 68%). В сталеплавильном переделе расходуется примерно 10–15%, а в прокатном 15–25%.

На первом этапе в доменном производстве основными направлениями экономии энергоресурсов (а это главным образом кокс) являлись:

- улучшение качества кокса (повышение прочности и уменьшение истираемости) и других компонентов шихты;
- оптимизация конструкции доменных печей и засыпных аппаратов;
- увеличение длительности кампании доменных печей и стойкости воздушных фурм;
- повышение температуры дутья;
- использование тепловых отходов (доменный газ, горячая вода, тепло шлаков).

В сталеплавильном производстве основными направлениями являлись:

- совершенствование конструкции агрегатов;
- повышение температуры чугуна, заливаемого в сталеплавильный агрегат;
- улучшение качества шихтовых материалов;
- утилизация тепла отходящих газов.

Однако самым главным событием стало сочетание работы кислородного конвертера, а позже и электропечи с машиной непрерывной разливки стали (хотя первая крупная промышленная МНЛЗ впервые в мире начала действовать в привязке к мартеновским печам на Донецком металлургическом заводе в 1960 году). Правда в то время основными достоинствами МНЛЗ считалось снижение отходов металла в обрезь и исключение дорогостоящего, малотехнологичного и трудоемкого слиткового передела. Но ведь и повышение выхода годного является энергосберегающей технологией, так как снижаются удельные затраты энергии при производстве проката. О снижении прямых энергетических затрат можно судить на примере Мариупольского комбината им. Ильича: расход топлива в комплексе кислородно-конвертерный цех — МНЛЗ почти в 7 раз меньше, чем в комплексе мартеновский цех — слябинг.

В прокатном производстве примерно 95% общих энергозатрат потребляется в виде топлива и электроэнергии. При этом на долю топлива приходится 80%, а электроэнергии 20%. Основными способами снижения энергозатрат на первом этапе являлись:

- использование тепла, накопленного металлом на предшествующих переделах;
- совершенствование нагревательных средств с целью повышения их КПД;
- оптимизация режимов прокатки;
- повышение КПД прокатных станов;
- использование вторичных энергоресурсов.

Тепло предшествующих переделов использовали путем посада слитков в нагревательные колодцы блюмингов и слябингов в горячем состоянии. Часть листовой и сортовой продукции также производили с посадкой слябов в нагревательные печи с температурой выше 400°C, а часть заготовок после обжимного стана поступала в прокатку вообще без промежуточного нагрева (прямая прокатка).

Характерно то, что горячий посад слябов и заготовок в нагревательные печи листовых и сортовых станов в наибольшем объеме и с более высокой температурой практиковался в бывшем СССР, так как в других странах в тот период времени осмотр и ремонт заготовок считался, чуть ли не основной гарантией качества готовой продукции. Следует отметить, что на этом этапе горячий посад слитков и заготовок в основном преследовал цель повышения производительности труда, а уж во вторую очередь — экономию топлива.

Энергетический кризис 70-х годов обусловил начало второго этапа развития энергосберегающих технологий. В доменном производстве основным явилось применение пылеугольного топлива (ПУТ). Впервые в Европе в промышленных условиях комплекс по вдуванию ПУТ был введен в действие в 1980 году на Донецком металлургическом заводе. В настоящее время это широко распространенная технология, позволяющая снизить расход кокса на тонну чугуна на 15–20%.

В сталеплавильном производстве — бурно развивалась выпечная (ковшовая) металлургия, вынесение из сталеплавильного агрегата операции точного «попадания» химического состава стали в заданный диапазон, процесса раскисления, дегазации металла и удаление из него примесей дало существенное снижение энергозатрат на производство стали.

Одной из особенностей сталеплавильного производства является то, что экономичность его агрегатов определяется не столько способом выплавки стали (конверторный, электросталеплавильный, мартеновский), сколько долей использования металлолома в шихте. При существующем уровне цен на кокс, сырые материалы и металлолом, чем больше доля последнего в шихте, тем меньше энергоемкость процесса в агрегате. И даже мартеновский процесс по этому показателю может быть эффективнее других. Его самый главный недостаток — плохая «стыковка» с МНЛЗ из-за большой длительности плавки и нерегулярности выпуска стали.

Как уже было отмечено выше, в этот период резко увеличился объем горячего посада металла в колодцы, а еще больше — в печи прокатных станов, а также освоена прямая прокатка. Причем особенно успешно в комплексах слябинг — широкополосный стан горячей прокатки (ШСП). Этому способствовало то, что большинство слябингов и ШСП в мире расположены соосно и во многих случаях они были соединены рольгангом.

Сложнее оказалась организация прямой прокатки в комплексах МНЛЗ — прокатный стан, поскольку МНЛЗ обычно располагали в сталеплавильном цехе и до прокатного цеха расстояние было не менее 400–500 м, а иногда и более. Необходимо было реализовать большой комплекс технических решений обеспечивающих повышение температуры выхода слябов и заготовок из МНЛЗ, сохранение их тепла по всему пути до прокатного стана и по его технологической линии.

Успешнее всего эта задача была решена в Японии. Основой успеха послужило коренное улучшение качества заготовок, т.к. прямая прокатка исключает возможность зачистки поверхности заготовок на складе (с одной стороны) и прогнозирование качества заготовок по значениям технологических параметров при выплавке и разливке стали (с другой стороны).

Вторым важным решением при строительстве новых комплексов было стремление устанавливать МНЛЗ вблизи прокатного стана, даже при удалении их от конвертерного цеха.

Третьим важным решением явилась разработка средств, снижающих потери тепла заготовкой. Так, при разливке стали на МНЛЗ остаточное тепло непрерывно литого слитка превышает 50% от энтальпии расплава. Теплоизолирующими крышками укрывают рольганги, расположенные сразу за МНЛЗ, между МНЛЗ (или обжимным станом) и станом горячей прокатки, по линии стана. В случаях, когда МНЛЗ отстоит на значительном расстоянии от прокатного стана, заготовки транспортируют на теплоизолированных тележках. Перед станом горячие заготовки накапливают в термосах. Были реализованы и другие технические решения.

Можно смело сказать, что ни в одной другой стране мира как в Японии не была так тщательно разработана сквозная энергосберегающая технология в металлургических комплексах.

Уже на втором этапе можно было сделать вывод, что энергосберегающая технология производства металлургической продукции это не набор нескольких, пусть даже очень крупных технологических решений, а комплекс крупных, средних, мелких и совсем маленьких, технических, технологических и организационных решений, направленных на решение одной проблемы — экономить в большом и малом — кокс, газ, мазут, электроэнергию на всех без исключения участках металлургического производства, с обязательной оптимизацией суммарных энергетических затрат для металлургического предприятия, поскольку имеются случаи, когда некоторое увеличение затрат энергии на одном участке сторицей окупится на другом и даст экономию энергоресурсов в целом.

Многие специалисты сравнивают появление литейно-прокатных модулей (ЛПМ) т.е. третий этап в развитии энергосберегающих технологий — по воздействию на прогресс металлургии с кислородно-конвертерным процессом и непрерывной разливкой стали.

К настоящему времени известны и разной стадии реализации находятся три способа совмещения процессов затвердевания и деформирования металлов:

- бесслитковая прокатка, когда жидкий металл подают в межвалковое пространство;
- начало деформирования металла, когда он находится в двухфазном состоянии;
- деформирование металла сразу после его полного затвердевания.

Таким образом, проблема энергосбережения решается в этом случае двумя путями: прямой экономией энергозатрат (близкое к полному использованию тепла предшествующего передела, отсутствие затрат на транспортировку металла и т.п.) и косвенной (за счет максимального приближения формы и размеров заготовки к готовому изделию).

Имеется множество технических решений, направленных на решение проблемы совмещения непрерывного литья и прокатки. Первые промышленные реализации относятся к переработке цветных металлов (алюминий, медь). В отношении черных металлов эта технология на настоящий момент в наибольшей степени решена фирмой «Шлеман Зимаг» (ФРГ), впервые осуществленная совместно с «Ньюкор Стил» (США) ЛПМ, где реализована технология CSP (Compact Strip Production) на заводе в г. Кроуфордсвилле (1989 г.). К 1997 году аналогичные ЛПМ были построены на 8 заводах и на ряде заводов их сооружение происходит.

Предлагается следующая классификация ЛПМ:

- по толщине отливаемых слябов (H): тонкослябовые ($H=50-80$ мм); среднеслябовые ($H=100-150$ мм); толстослябовые ($H=180-200$ мм);
- по типу используемого прокатного стана: непрерывные (непрерывная группа из 5-7 клетей, возможна группа предварительного обжатия клетей) и реверсивные (станы Стеккеля, планетарные с черновой клетью или без нее);
- по типу применяемых печей: газовые (проходные роликовые или камерные с моталками) и индукционные.

Пока все реализованные в промышленности ЛПМ предназначены для прокатки полос толщиной не более 12 мм.

Учитывая высокую эффективность ЛПМ, существенное снижение энергозатрат на производство одной тонны проката, снижение вредного влияния на экологию по сравнению с традиционными способами производства листовой стали нами* определены области возможного размерного и марочного сортамента толстых листов при производстве их в тонко-, средне- и толстослябовых ЛПМ (таблица 1). На рисунке 1 показаны возможные схемы ЛПМ для производства листов указанного в таблице сортамента.

Таблица 1 — Размерный и марочный сортамент толстых листов, реализуемых на тонко-, средне- и толстослябовых ЛПМ

Тип ЛПМ	Размеры слябов, мм		Размеры листов, мм		Марочный сортамент
	толщина (H)	ширина (B)	толщина (H)	ширина (B)	
Тонкослябовый	70-80	до 1600 (2300) ¹	4-12 (4-40) ²	до 1600 (2300) ¹ (3400) ³	По опытным данным фирм «Маннесманн-Демаг» и «Даниели-Юнайтед» не ограничен. Практически освоены углеродистые стали.
Среднеслябовый	120-150	до 2500	4-60 (4-20) ⁴		не ограничен
Толстослябовый	200-250	до 2400	4-60 (4-30) ⁴	до 3400 ограничен длиной бочек валков прокатного стана	не ограничен
1 — техническая характеристика МНЛЗ фирмы «Даниели-Юнайтед»; 2 — для комбинированных ЛПМ с участком черновых клетей; 3 — для схемы ЛПМ с кантователем слябов; 4 — толстый лист из легированных сталей					

Тонкослябовые ЛПМ разработаны с использованием элементов схем, предложенных фирмами «Маннесманн-Демаг» и «Даниели-Юнайтед», и имеют в своем составе участок черновых клетей и обеспечивают получение листов толщиной 15-40 мм в листах и 4-12 мм в рулонах. Установка принудительного охлаждения непосредственно после МНЛЗ (схема б) при условии «мягкого» обжатия слябов в процессе разлива позволит получить часть сортамента непосредственно на этом участке ограничения по ширине толстых листов (см. таблицу) схема а и б обусловлены применением чисто продольной схемы прокатки. Установка кантователя перед черновыми клетями (схема в) и увеличение длины бочки валков позволит варьировать ширину листов.

* Работа выполнена с участием В.В.Оробцева и Е.А.Руденко (ДонГТУ)

Толстые листы из слябов средней ширины могут быть получены по технологии TSP (Tipping — Samsung process), разработанной фирмами «Типпинг» и «Самсунг» (состав модуля: МНЛЗ, печь для выравнивания температуры слябов, аналогична печи 14 на схеме 2, стан Стеккеля: универсальная клеть кварто, отводящий рольганг и моталка).

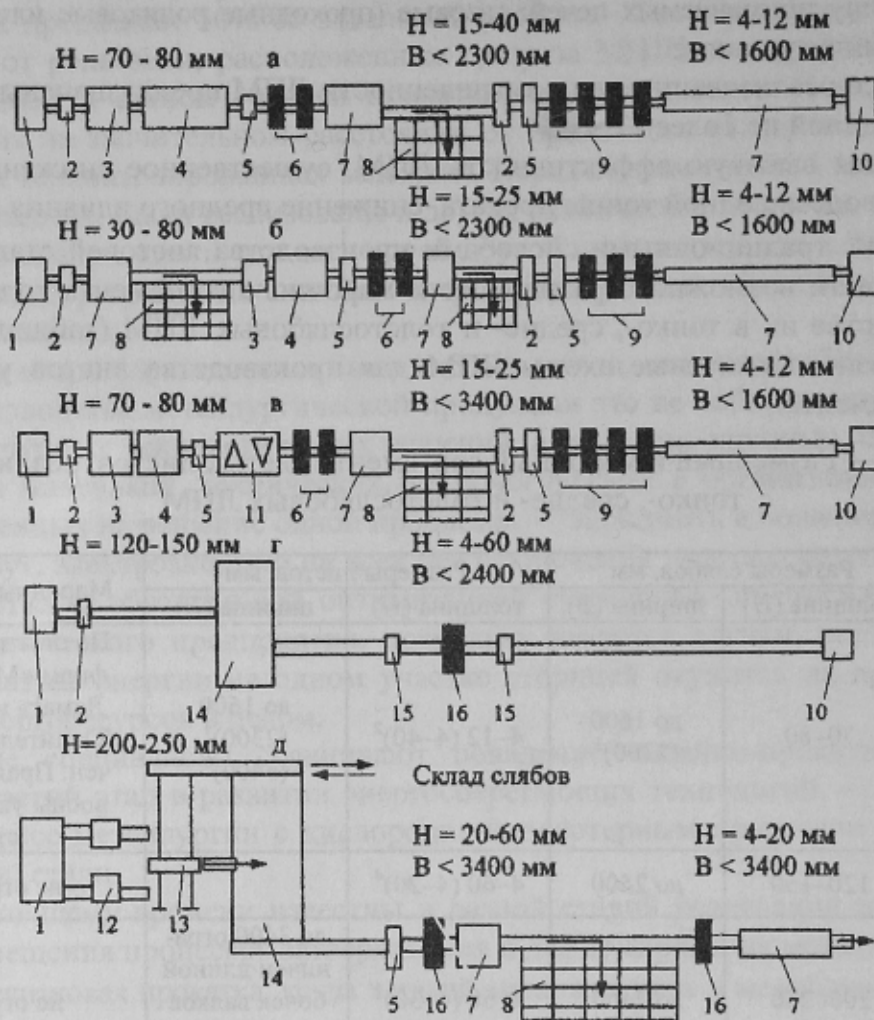


Рисунок 1 — Варианты схем производства толстых листов из тонких (а, б, в), средних (г) и толстых слябов (д) в литейно-прокатных модулях: 1 — МНЛЗ; 2 — ножницы; 3 — индуктор; 4 — проходная печь; 5 — гидросбив; 6 — группа черновых клетей; 7 — установка принудительного охлаждения; 8 — уборочный рольганг; 9 — группа чистовых клетей; 10 — моталка; 11 — кантователь; 12 — машина газовой резки; 13 — передаточный рольганг-тележка; 14 — методическая печь с боковой и торцевой загрузкой слябов; 15 — печные моталки; 16 — реверсивная клеть

Получение толстых листов наиболее широкого размерного и марочного сортамента возможно по схеме толстослябового ЛПМ, базирующегося на классическом двухклетевом стане. С целью расширения буферной зоны между МНЛЗ и станом, повышения гибкости планирования и управления производством по данной схеме и технологии TSP целесообразно использовать комбинированную печь с боковой (для горячих слябов) и торцевой (для холодных слябов) загрузкой.

Производительность предложенных ЛПМ составляет 1 млн. т продукции в год.