

*д.т.н. Смирнов А.Н.
(ГВУЗ «ДонНТУ», г. Донецк, Украина),
к.т.н. Куберский С.В.,
Довгальук Г.Я.
(ДонГТУ, г. Алчевск, Украина)*

ВНЕДРЕНИЕ ЛИТЕЙНО-ПРОКАТНЫХ МОДУЛЕЙ – ПЕРСПЕКТИВНЫЙ ПУТЬ РЕСТРУКТУРИЗАЦИИ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Проаналізовано переваги реструктуризації металургійних підприємств шляхом заміни традиційних технологій розливання і прокатки металу сучасними ливарно-прокатними модулями. Показано, що такий спосіб реконструкції є досить ефективним для інтегрованих підприємств України та міні металургійних заводів.

***Ключові слова:** реструктуризація, ливарно-прокатний модуль, механічні властивості, якість прокату.*

Проанализированы преимущества реструктуризации металлургических предприятий путем замены традиционных технологий разлива и прокатки металла современными литейно-прокатными модулями. Показано, что такой способ реконструкции является достаточно эффективным для интегрированных предприятий Украины и мини металлургических заводов.

***Ключевые слова:** реструктуризация, литейно-прокатный модуль, механические свойства, качество проката.*

Продукция металлургического комплекса занимает важное место в экспортном потенциале Украины. Более 70% металлопродукции отечественных предприятий ежегодно экспортируется в страны СНГ, Азии, Европы и даже США. Кризисные явления в мировой экономике ярко проявившиеся в 2008-2009 годах выявили наиболее уязвимые элементы украинской металлургии.

К основным проблемам присущим отечественным металлургическим предприятиям и отрасли в целом можно отнести:

- значительный износ основных фондов;
- недостаточно совершенную структуру производства;
- высокую энерго- и материалоемкость технологических циклов;

- низкий уровень автоматизации и внедрения современных высококоррентабельных технологий;
- отсутствие достаточного ресурса оборотных средств необходимых для реконструкции и внедрения новых технологических процессов и многое другое.

Все это оказывает значительное влияние на конкурентоспособность как отдельных предприятий так и отечественного металлургического комплекса в целом. Вместе с тем, поскольку для мировой экономики характерно постоянное изменение конъюнктуры, проблема разработки и осуществления программы мер по поддержке экспорта страны на мировом рынке, увеличению или, по крайней мере, сохранению его удельного веса в мировой торговле представляется крайне актуальной и значимой.

В настоящее время украинские производители стали ощущают необходимость в повышении конкурентоспособности продукции в условиях значительного роста требований к энерго- и ресурсосбережению для всего металлургического цикла. Решить эту проблему без серьезных мероприятий по реформированию системы технологических процессов представляется весьма проблематичным.

Многие металлургические предприятия Украины испытывают значительные трудности в части проведения программ по повышению эффективности функционирования технологических циклов. Это, прежде всего, вывод из эксплуатации так называемых «неэффективных» мощностей или же коренная реструктуризация таких циклов с целью достижения признанных мировых показателей. К числу наиболее актуальных задач для украинской металлургии следует отнести проблему реструктуризации большинства сталеплавильных цехов. Это обусловлено тем фактом, что они построены более 50 или 60 лет назад и в настоящей системе производственных процессов не могут полностью удовлетворять требованиям научно-технического прогресса [1,2].

Одной из основных задач для интегрированных заводов черной металлургии Украины является реструктуризация сталеплавильного производства с заменой устаревшего энергоемкого цикла производства металлопродукции по схеме «сталеплавильный агрегат – разливка стали в слитки – прокатка на блюминге или слябинге» на современный цикл «сталеплавильный агрегат – внепечная доводка стали в ковше – непрерывная разливка». Такая схема обеспечивает целый ряд преимуществ, существо которых сводится к повышению выхода годной продукции в среднем на 15-20% и снижению энергопотребления за счет вывода из эксплуатации крайне энергоемких обжимных станов.

Несмотря на достаточно очевидные преимущества технологических процессов на базе непрерывной разливки стали, реализация этой

концепции требует новых подходов и высокоэффективного оборудования, что обусловлено следующими специфическими особенностями:

- большинство сталеплавильных цехов Украины построены в то время, когда процессы непрерывной разливки не получили широкого развития и соответственно в их компоновке не была предусмотрена такая возможность;

- сталеплавильные цехи Украины оснащены преимущественно конвертерами или мартеновскими печами большой единичной мощности, что обуславливает большую емкость ковшей (порций разливаемого металла) и соответственно требует применения машин непрерывной разливки стали (МНЛЗ) высокой производительности;

- металлургические предприятия имеют определенную сложившуюся десятилетиями структуру прокатного производства, что соответственно требует ее совмещения с новыми технологиями получения металлургической заготовки.

Принимая за объективную реальность сам факт потребности в изменениях технологического плана, необходимо иметь в виду, что их эффективность будет во многом зависеть от концепции управления, охватывающей запланированные, организуемые и контролируемые переменные в области стратегии, производственных процессов, структуры и культуры предприятий. Принципиально важным является вопрос противостояния предприятия изменениям внешней среды (за счет предварительных мер или ответной реакции) и сохранения его жизнеспособности. В этом плане любое металлургическое предприятие имеет определенную совокупность компонент экономического, технологического, политико-правового, социально-культурного и физико-экологического характера.

Как показывает анализ, в современной ситуации жесткой конкурентной борьбы ни одно металлургическое предприятие не может себе позволить значительное снижение объемов производства на длительный период. Поэтому вопросы реструктуризации сталеплавильного производства наиболее целесообразно решать в плоскости сохранения объемов производства, то есть без его остановки. Такой подход требует принципиально новых решений как в части управления предприятием, так и в части эволюционно-революционной трансформации производственно-технологической структуры.

Рассматривая реструктуризацию как радикальный способ преобразования металлургического предприятия в части активов, собственности, финансов, управления, кадров, технологии и пр. [3-6], отметим, что она предполагает комплекс мероприятий стратегического (долгосрочного) характера при условии дееспособности предприятия в любой краткосрочный период с минимальными искажениями.

Из новых высокоэффективных решений по реструктуризации отечественных интегрированных металлургических предприятий максимальное распространение может получить технология и оборудование для выплавки стали в конвертерах или дуговых печах с разливкой тонких слябов, совмещенной с прокаткой этих слябов на лист без промежуточных циклов охлаждения и подогрева заготовки. Актуальность применения таких систем в целом представляется безусловной поскольку они обеспечивают значительный энергосберегающий эффект в сравнении с классическими схемами получения листа. Более того, следует также иметь в виду тот фактор, что большинство прокатных станков в странах с традиционно развитой металлургией требуют либо их коренной реконструкции, либо радикальной замены на новые агрегаты, что само по себе представляется крайне дорогостоящим мероприятием.

В настоящее время в мире насчитывается 61 цех с литейно-прокатными модулями (ЛПМ), которые производят более 80 млн. т листа в год [7, 8]. ЛПМ успешно функционируют как в условиях конвертерных цехов, так и на мини металлургических заводах. Более того, успешная реализация концепции ЛПМ фактически создала все базовые предпосылки для промышленного производства плоского проката на мини-заводах с выплавкой стали в дуговых сталеплавильных печах. Механические свойства листа, прокатанного из тонкого сляба, характеризуются высокой однородностью ($\pm 5\%$), высоким сопротивлением усталостному разрушению, высокой пластичностью при низких температурах и пр.

Основная доля таких мини-заводов приходится на США (около 40%), Западную Европу (более 20%) и развивающиеся (включая Китай) страны (27%). В Западной Европе функционирует 7 ЛПМ, разработанных различными фирмами-производителями оборудования. На пространстве бывшего СССР имеется лишь один мини металлургический завод – ОАО «Выксунский металлургический завод» (Россия), где в 2008 г. реализована технология ЛПМ. Завод сооружен генеральным подрядчиком – фирмой «Danieli» (Италия).

В целом технологическая система на базе ЛПМ может быть представлена следующим образом: выплавка стали в дуговой печи (или конвертере) – доводка стали на установке «ковш-печь» (вакуумирование стали в ковше) – разливка стали на слябы (толщина сляба 50-70 мм) и горячая прокатка слябов в технологической цепочке ЛПМ – прокатка на станах холодной прокатки.

При этом, как показала практика, для получения 1 т холоднокатаного листа достаточно 1,10-1,12 т жидкой стали, а значительный энергосберегающий эффект достигается, главным образом, за счет сокраще-

ния технологической цепочки и исключения дополнительных циклов охлаждения и нагрева заготовки.

ЛПМ успешно разрабатываются несколькими ведущими машиностроительными фирмами мира. Лидером в создании ЛПМ (по объему разработок и количеству реализованных агрегатов) является фирма «SMS-Demag». Собственную концепцию ЛПМ разработала фирма «Mannesmann-Demag» (Германия) и дала ей название ISP (In-line Strip Production). Она реализована в 1992 г. на заводе в Кремоне (Италия) фирмы «Acciaieria Arvedi» (Италия). Серьезные научные и конструкторские разработки в этой области выполнены фирмой «Danieli». Фирма «Siemens VAI» (Германия-Австрия) также рассматривает создание ЛПМ как перспективное направление.

Современная практика применения ЛПМ показывает, что их разливочный модуль представляет собой, как правило, высокофункциональную одноручьевую МНЛЗ, в которой совмещены все основные достижения в области разливки стали.

Прокатная часть ЛПМ может быть совмещена с одной или двумя МНЛЗ в зависимости от номинальной производительности цеха (рисунок 1). По сути ЛПМ представляет собой хорошо гармонизированную и автоматизированную систему, состоящую из тонкослябовой МНЛЗ, участка подогрева (выравнивания температуры) сляба и очистки его от окалины, и прокатного стана для получения горячекатаного листа заданной толщины.



Рисунок 1 – Технологическая схема производства проката на литейно-прокатном модуле

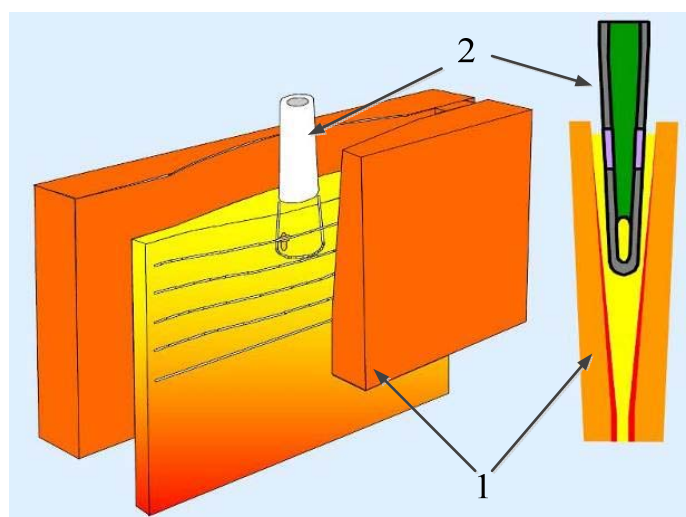
Основные решения, обеспечивающие эффективность технологии разливки стали на ЛПМ, заключаются в следующем:

– сокращение до минимума числа промежуточных этапов технологического процесса (исключение промежуточных этапов охлаждения и нагрева заготовки и т.п.) за счет гармонизации процесса разливки стали и прокатки заготовки;

– концепция ЛПМ не предусматривает промежуточного контроля качества заготовки и, тем более, сортировку и зачистку. В таких услови-

ях стабильность работы литейной части модуля достигается за счет жесткого обеспечения ряда показателей качества жидкой стали в ковше перед разливкой (включая температуру);

– создание системы сопряженных технических решений, обеспечивающих разливку стали с высокими скоростями на тонкий сляб. Основной задачей при этом является обеспечение стабильного подвода жидкой стали в вертикальный кристаллизатор и равномерное ее распределение по всей ширине сляба. С этой целью фирмой «SMS-Demag» запатентовано, например, оригинальное решение для внутренней полости кристаллизатора – в верхней части ему придается воронкообразная форма, обеспечивающая введение погружного стакана (рисунок 2). При этом ведущими производителями высококачественных изостатических огнеупоров разработаны специальные конструкторские решения для нижней части погружных стаканов. Эти решения сводятся к обеспечению подачи металла в кристаллизатор плоскими струями (рисунок 2). Такая конфигурация погружных стаканов получила название «бровый хвост»;



1 – кристаллизатор; 2 – погружной стакан типа «бровый хвост»;

Рисунок 2 – Принципиальная схема подвода стали в кристаллизатор тонкослябовой МНЛЗ

– конструкция кристаллизатора тонкослябовой МНЛЗ предусматривает возможность изменения ширины сляба непосредственно в процессе разливки (максимальное изменение ширины, как правило, составляет не более двух раз). Длина кристаллизатора составляет 0,9-1,0 м. Скорость вытягивания сляба в таких МНЛЗ составляет 5-10 м/мин;

– механизм качания кристаллизатора МНЛЗ выполняется с гидравлическим приводом, позволяющим обеспечить свободный выбор

амплитуды и частоты колебания в процессе разливки стали и корректировать эти параметры при изменении скорости вытягивания заготовки. Закон колебания кристаллизатора – несинусоидальный. Такой закон колебания обеспечивает максимальное время контакта непрерывнолитого слитка и стенок кристаллизатора при движении с примерно одинаковой скоростью (минимальное относительное движение), что минимизирует вероятность «травмирования» твердой корочки – поверхности слитка;

– применение системы электромагнитного торможения потока металла, подаваемого в кристаллизатор. Электромагнитный тормоз создает в верхней части кристаллизатора регулируемое по напряжению электромагнитное поле. Втекающая в него жидкая сталь пересекает это поле и в ней наводятся напряжения и токи, которые «закорачиваются» в стали. Вызываемые этим процессом силы тормозят потоки стали и обеспечивают равномерно распределенное движение металла вниз и по сечению сляба;

– применение автоматических систем: поддержания уровня металла в кристаллизаторе; динамического контроля затвердевания слитка и предотвращения прорывов твердой его корочки под кристаллизатором; подогрева заготовки в туннельной печи и т.п.;

– реализация технологии литья слябов с дополнительным многоточечным обжатию заготовки с жидкой сердцевиной непосредственно в ЗВО (до толщины 35-40 мм). Эффективность реализации такого обжатия во многом зависит от места его начала и окончания. На современных тонкослябовых МНЛЗ, имеющих высокий уровень автоматизации, это достигается посредством непрерывного определения конфигурации жидкой лунки и соответствующей коррекцией начала и окончания обжатия. Собственно коррекция осуществляется использованием (или не использованием) в процессе обжатия первых и последних пинч-роликов. Общая величина такого обжатия для тонкослябовых МНЛЗ достигает 20-30 мм. Следует отметить, что компании, разрабатывающие ЛПМ без использования воронкообразного кристаллизатора, осуществляют первое обжатие сляба уже непосредственно под кристаллизатором;

– установка устройства для удаления окалины с поверхности слитка перед ножницами для порезки на мерные длины;

– использование туннельной печи для выравнивающего подогрева сляба (непосредственно после порезки и без дополнительного охлаждения). Точность выравнивания температуры ± 10 °С. Поэтому последующие операции (прокатку и охлаждение) можно вести при постоянной скорости;

– прокатка тонкого сляба в группе черновых и чистовых клетей с целью получения проката в рулонах. Для этих целей применяются две различные схемы: система непрерывной прокатки и система прокатки на стане Стеккеля.

Одним из наиболее ярких примеров реализации концепции реструктуризации металлургических предприятий в современных условиях является опыт Объединенной металлургической компании (ОМК), которая ввела в эксплуатацию литейно-прокатный комплекс (ЛПК) в районе Выксунского металлургического завода.

ЛПК ОМК имеет ряд отличий в сравнении с эксплуатируемыми в настоящее время комплексами. Уже на стадии разработки комплекса ОМК была заложена реализуемая сейчас возможность производства проката как для труб высоких категорий прочности с особыми свойствами, так и для других отраслей промышленности, в том числе с возможностью производства тонкого проката толщиной до 0,8 мм.

На ЛПК предусмотрено производство стали углеродистых, конструкционных, низколегированных марок, а также сталей со специальными свойствами. Трубный сортамент представлен в основном сталями 10, 20, 09Г2С, 17Г1СУ, 22ГЮ, 09ГСФ, Х60, Х70, N80, NT60ULE.

Кроме того, на комплексе планируется производить: низкоуглеродистую кремнистую сталь для электротехнической промышленности; сталь 10ХНСД для мостостроения; сталь GL-E40 для судостроения; высокопрочную низкоуглеродистую сталь HSLA S500MC; сверхнизкоуглеродистую для автомобилестроения с содержанием углерода менее 0,03 % и азота менее 40 ppm и т.п.

Отклонения от геометрических размеров получаемых рулонов отвечают следующим параметрам: предельные отклонения по ширине проката 0/+10 мм; предельные отклонения по толщине $\pm 0,9\%$ для диапазона толщин 7,6-12,7 мм; серповидность – не более 5 мм на длине 5 м, но не более 10 мм на 12 м длины; телескопичность рулонов – не более 20 мм.

Вся произведенная продукция литейно-прокатного комплекса проходит процедуру контроля и аттестации, включающую в себя:

- определение химического состава готовой стали по пробе, отобранной из промежуточного ковша МНЛЗ;
- отбор проб от рулона и проведение механических испытаний образцов готового проката;
- контроль качества поверхности;
- контроль внутреннего качества слябов (на одной плавке в серии);
- контроль микроструктуры и неметаллических включений, по требованию заказчика;
- ультразвуковой контроль листов (после агрегата поперечной резки);
- дополнительные виды испытаний согласованные с заказчиком.

С момента пуска комплекса на ЛПК проводятся интенсивные работы, направленные на получение металла требуемого металлургического качества и освоение производства новых видов продукции, необходимых как трубным цехам ОАО «ВМЗ», так и другим потребителям.

Это в основном стали 22ГЮ, 20, Ст3, К52 в размерном сортаменте: толщина полосы 2-12 мм, ширина 1000-1700 мм.

С ноября 2008 г. на МНЛЗ освоена разливка углеродистых сталей обыкновенного качества и качественных углеродистых сталей, преобладающих в сортаменте аналогичных зарубежных литейно-прокатных комплексов, со скоростями разливки до 3,5 м/мин и средней серийностью 5,6 плавки на один промежуточный ковш. Технология разливки стали марок Ст10, Ст20, Ст3сп обеспечивает хорошее качество поверхности и макроструктуры слябов, отсутствие недопустимых дефектов в готовом прокате. Освоение производства более сложных марок трубного сортамента, в частности 22ГЮ, потребовало корректировки химического состава путем микролегирования металла нитридообразующими элементами – ниобием и титаном, что позволило избежать образования нитридов алюминия на переохлажденных участках слябов приводивших к получению в прокате прикромочных трещин и плен. Наличие в стали 0,03 % ниобия и 0,015 % титана позволило уменьшить содержание марганца с 1,25 до 0,50% без ухудшение прочностных характеристик и снизить себестоимость стали.

Постоянный контроль качества слябов подтвердил эффективность технологии мягкого обжата. Дефекты макроструктуры слябов из стали Ст10 не превышают балла 1 по ОСТ 14-4-73.

Постоянное усложнение сортамента ЛПК выявило необходимость использования новых шлакообразующих смесей фирмы Metallurgica для разливки среднеуглеродистых сталей, оптимизации режимов мягкого обжата и вторичного водовоздушного охлаждения заготовки. Результаты эксплуатации МНЛЗ позволили приступить к производству стали класса прочности К56, предназначенной для изготовления на ВМЗ труб большого диаметра (1067 мм) с толщиной стенки 11 мм для строительства второй очереди нефтепровода Балтийской трубопроводной системы по заказу компании «Транснефть».

По результатам проведенных НИР и пробных прокаток были определены требуемая микроструктура и концепция легирования сталей. В основу положена схема экономного легирования стали марганцем и ниобием на фоне низкого, в пределах 0,05-0,07 % содержания углерода.

На практике подтверждена возможность производства на комплексах типа ЛПК проката из сталей класса (категории) прочности К52(Х60) и К56(Х65) для одно- и двухшовных труб большого диаметра. Использование схемы экономного легирования обеспечивает достижение класса (категории) прочности К60(Х70) за счет небольшой добавки марганца или ванадия.

Сопоставление механических свойств основного металла труб диаметром 1067×11 мм из металла производства ОАО «Северсталь» и ЛПК

ОМК показало, что как по уровню, так и по распределению они практически равноценны и полностью удовлетворяют предъявляемым требованиям. Статистический анализ результатов большого объема механических испытаний основного металла труб классов прочности K52 и K56 из металла производства ЛПК показал, что свойства удовлетворяют предъявляемым требованиям и имеют приемлемый уровень разброса.

Сопоставление свойств сварного соединения труб диаметром 1067×11 мм из металла производства ОАО «Северсталь» и ЛПК ОМК показало, что прочностные свойства и ударная вязкость, как по линии сплавления, так и по центру шва полностью равноценны и удовлетворяют предъявляемым требованиям.

Показаны основные достижения в развитии технологии получения металлопродукции с использованием ЛПМ в условиях ОАО «ВМЗ».

Рассматривая перспективы расширения применения ЛПМ в мире, следует иметь в виду, что в отличие от традиционных технологических процессов с мощными прокатными станами они очень хорошо вписываются в любые построения на базе концепции мини-заводов с объемом производства 0,8-1,0 млн. т стали в год и более. При этом ЛПМ также достаточно хорошо вписываются в работу современных конвертерных цехов.

Внедрение процесса совмещенного литья тонких слябов и горячей прокатки полосы в странах с традиционной металлургией будет расширяться, что обуславливается общими требованиями к энергосбережению и качеству продукции. Следует ожидать, что в обозримом будущем технология ЛПМ получит еще большее распространение на действующих металлургических заводах Европы, и в частности, Украины и России. Это будет обусловлено дальнейшим моральным и физическим (это главное) старением прокатных станов для плоского проката.

Дальнейшие исследования будут посвящены изучению основных дефектов непрерывнолитого металла производимого в условиях ЛПК ОАО «ВМЗ» (окалино- и пленообразование и др.) и разработке технологических рекомендаций направленных на повышение качества металлопродукции.

Библиографический список

- 1. Грищенко С.Г. О состоянии и перспективах развития металлургического комплекса Украины / [С.Г. Грищенко, В.К. Грановский, В.С. Харахулах и др.] // *Литье и металлургия*. – 2002. – №4. – С. 118-121.*
- 2. Сталь на рубеже столетий: под научн. ред. Ю.С. Карабасова. – М.: МИСИС. – 2001. – 664 с.*

3. Евсеев А. Стратегия реструктуризации предприятия в условиях кризисной ситуации / А. Евсеев // Проблемы теории и практики управления. – 1999. – №3. – С. 109-113.

4. Водачек Л. Реструктуризация – вызов чешским предприятиям / Л. Водачек // Проблемы теории и практики управления. – 1999. – №1. – С. 84-89.

5. Оценка бизнеса : [под. ред. А.Г. Грязновой и др.]. – М.: Финансы и статистика. – 1998. – 512 с.

6. Шевелев Л. Избавление от обуз (о реструктуризации неэффективных производственных мощностей) // Металлы Евразии. – 2003. – №3. – С.26-29.

7. Dahlmann P. The steel industry in Europe – innovative and efficient / P. Dahlmann, R. Fandrich, H. B. Lüngen // Steel Institute VDEh, Verlag Stahleisen, Düsseldorf. – 2012. – P. 1-13.

8. Bohlender T. State of the art in continuous casting. In: Steel is Future, Ed. / R. Fandrich, H.-A. Jungbluth, G. Kemper, R. Müller, H.-P. Narzt, G. Ney, H. Schnitzer // Steel Institute VDEh, Verlag Stahleisen, Düsseldorf. – 2010. – P. 64-75.

Рекомендована к печати д.т.н., проф. Петрушовым С.Н.