

## СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВА РАЗВИТИЯ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ НА МИНИ-ЗАВОДЕ

А.Н. Смирнов, В.М.Сафонов, И.Н. Салмаш, А.В. Яремко  
Донецкий национальный технический университет

*Зроблено аналіз виробництва сталі на міні металургійних заводах. Знайдені оптимальні параметри для перемішування розплаву в установці ківш-піч за допомогою математичного моделювання.*

Известно, на заводе полного цикла, в сравнении с мини-заводом, удельные затраты энергии на производство готовой продукции, например катанки, обычно в два раза выше. Последнее обстоятельство вызывает необходимость организации в условиях мега-завода собственных генерирующих энергию мощностей, а с целью снижения затрат на топливо использовать собственные вторичные энергоносители: доменный и коксовальный газ. Таким образом, система энергообеспечения завода в свою очередь становится более или менее зависима от технологического процесса производства металлопродукции. Вследствие вышеизложенного для мега-завода характерна явная зависимость затрат по переделу от степени загруженности основных технологических агрегатов. По ряду оценок, снижение производительности металлургического завода на 20% приводит к увеличению удельных затрат на \$10-15.

Кроме того, следует отметить, что доля грузов металлургического назначения промышленного железнодорожного транспорта, например, в Российской Федерации составляет более 23%, а для грузового автотранспорта – более 11%. По расчетам, при производстве на уровне 60 млн. т стали в год общий объем перевозок металлургических грузов только железнодорожным транспортом превышает 180 млн. т при среднем расстоянии около 2 тыс. км.

По данным некоммерческой организации - Международного института стальной промышленности (International Institute of Steel Industry, IISI), если на американских металлургических предприятиях полного цикла уровень рентабельности в 2000г. составлял 7%, то на мини-заводах он превышал 22%.

Поэтому, только за последние десять лет производство стали в электродуговых печах возросло в 1,5 раза и составило 348 млн. тонн в 2004 г.

При этом металлопроизводители ориентируется на современную технологическую концепцию выплавки жидкого полупродукта в высокопроизводительной дуговой электропечи с последующей доводкой полупродукта в сталеразливочном ковше на участке внепечной обработки. В мировой практике такой технологический подход является общепринятым, так как обладает рядом существенных преимуществ (в сравнении с «классической» дуговой электроплавкой) и позволяет в 1,5 – 2,5 раза увеличить производительность плавильного агрегата.

С целью снижения энергетических затрат на плавку до 320-350 кВт\*ч/т общая конфигурация современной ДСП включает:

- печной трансформатор с возможностью регулирования силы тока дуги на каждой ступени напряжения;
- токопроводящие электрододержатели с системой спреерного охлаждения графитированных электродов;
- надежные и быстродействующие гидравлические механизмы подъема и поворота свода, перемещения электродов, наклона печи и пр.;
- водоохлаждаемый свод с экономичными водоохлаждаемыми панелями;
- каркасную конструкцию кожуха со съемными водоохлаждаемыми элементами стен и модулями для ввода кислорода, природного газа и порошкообразного углеродистого материала, которая обеспечивает возможность проведения планово-предупредительных ремонтов «блочным» способом
- подину печи с рациональной схемой футеровки разными типами огнеупорных материалов и устройством для перемешивания ванны;
- эркерную систему выпуска плавки с эффективным механизмом отсечки печного шлака;
- систему конвейерной подачи шихтовых и шлакообразующих материалов в печь;
- систему водоохлаждаемого газохода и «сухую» газоочистку;
- систему АСУ ТП.

При этом необходимо отметить, что только новая техника и технология плавки в дуговой электропечи позволяет снизить расход электрической энергии более чем на 100-150 кВт\*ч/т в сравнении со старыми электропечами, которые даже после существенной

модернизации не в состоянии выйти на современный уровень энергосбережения. Так, например, на ДСП-100НЗА (ММЗ «ИСТИЛ (Украина)»), построенной в 1979 г., даже после оснащения ее современными технологическими средствами не удалось достигнуть величины расхода электроэнергии ниже, чем 440 кВт\*ч/т при продолжительности плавки 120 мин.

Стоит отметить, что в настоящее время разработаны и проходят широкую промышленную проверку ряд вариантов дуговой электропечи с предварительным подогревом стального лома, конструкция которых позволяет утилизировать тепло отходящих дымовых газов. Однако данные об эффективности их эксплуатации весьма противоречивы. Наряду с информацией о преимуществах эксплуатации печей такого типа на некоторых заводах отказываются от их применения. Например, компания Megasteel (Малайзия) заменила электропечами традиционной конструкции две шахтные печи с удерживающими пальцами, которые проработали на заводе всего четыре года и не оправдали ожиданий.

Организация энергосберегающего цикла производства стали на мини металлургических заводах не ограничивается совершенствованием технологии выплавки полупродукта в электропечи. Современный мини завод представляет единую производственную систему, в которой несогласованность или даже напряжённость в работе одного технологического звена приводит к немалым потерям энергии.

При этом все операции сопровождаются перемешиванием расплава в ковше за счет донной продувки аргоном. Технологический режим продувки, геометрические параметры ковша и продувочных устройств оказывают определяющее влияние на уровень потерь тепла, повышение тепловоспринимающей способности ванны, степень гомогенизации и рафинирования стали при атмосферном давлении и под вакуумом. Кроме того при продувке происходит процесс износа огнеупорной футеровки ковша. Поэтому поиск оптимальных параметров продувки, к которым относятся число используемых продувочных пробок (одна, две), их расположение и расход газа является одним из наиболее существенных факторов энергосбережения, в ходе ковшевой обработки. Математическое моделирование с использованием прикладного пакета ANSYS (модуль FLOTTRAN), выполненные на кафедре «Металлургия стали» реализуют метод конечных элементов. Рассматривалась двумерная нестационарная задача с моделированием жидкой ванны металла, в

которой происходит процесс перемешивания за счет естественной конвекции и вдувания инертного газа через днище ковша через одну и две пробки. Объемный расход вдуваемого газа через одно отверстие принят  $0,2 - 0,8 \text{ м}^3/\text{мин}$ , длительность продувки 600с., начальная температура металла в ковше  $1575 \text{ }^\circ\text{C}$ .

В результате моделирования были получены картины скоростей потоков и температурные поля металла в ковше в зависимости от расположения продувочных пробок и расхода газа. При центральном расположении пробки образуется два равных циркуляционных контура. Восходящий поток, поднимаясь к поверхности шлак-металл, замедляется, делится на две части, каждая из которых отклоняется к стенкам ковша, ударяясь в футеровку шлакового пояса со скоростью  $0,3 \dots 0,4 \text{ м/с}$ , и опускается вниз к днищу. Такая картина свидетельствует о том, что в потоки расплава будут увлекать в перемешивание слои шлака, расположенные возле стенок, и активно воздействовать на футеровку шлакового пояса, что будет приводить к интенсивный износ огнеупоров в этой зоне. Скорость расплава в зоне днища составляет около  $0,1 \text{ м/с}$ . Следует отметить, что дальнейшее моделирование для различных вариантов расположения продувочной пробки показало относительное подобие наблюдаемых картин. Однако наряду с этим, в ковше возникают зоны расплава, в которых практически отсутствует циркуляция. При смещении продувочного отверстия к стенке ковша «мертвые» зоны располагаются в районе днища между основным факелом и правой стенкой ковша. Причем скорость расплава в этих зонах достигает  $0,3 \dots 0,8 \text{ м/с}$ , а направление потоков свидетельствует об интенсивном воздействии на футеровку днища и нижней части стенок ковша, что может приводить к ее размыванию. Это явление особенно четко наблюдается в диапазоне размещения отверстия  $r=0,7 \dots 1,05 \text{ м}$ . Поэтому целесообразным с точки зрения стойкости футеровки днища можно считать расположение продувочного отверстия в диапазоне от 0 до  $0,65 \text{ м}$ .

Моделирование для тех же условий в случае двух продувочных пробок (рис.1) показало следующее. От продувочных пробок потоки расплава поднимаются вверх с максимальной скоростью. По ходу подъема скорость потоков несколько уменьшается (на  $17 \dots 20\%$ ), а периферийные части потоков отклоняются к стенкам и оси ковша и спускаются вниз к днищу ковша, вовлекая смежные объемы расплава в движение и образуя зоны циркуляции.

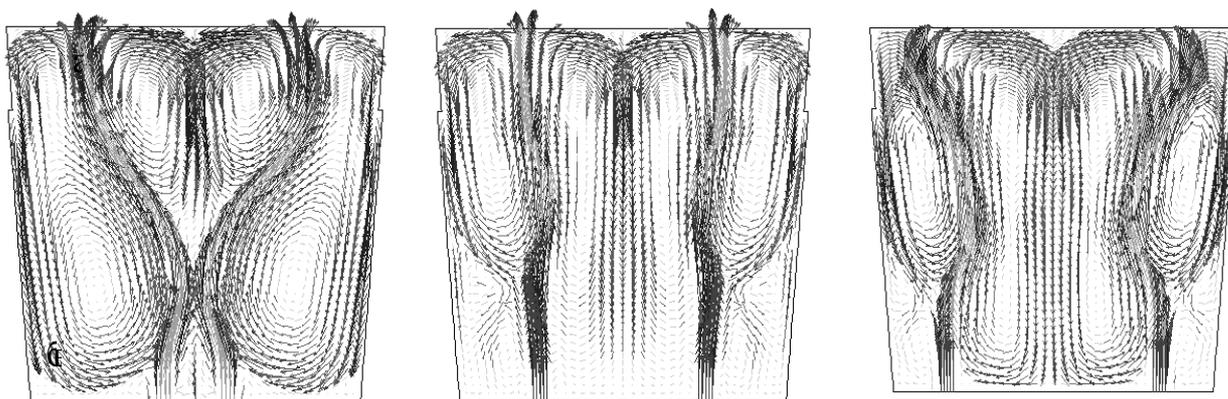


Рис. 1. - Поля скоростей расплава через 600 с после начала продувки при расположении продувочных пробок а)  $r=0,25$  м; б)  $r=0,65$  м; в)  $r=0,85$  м

Для любого варианта расположения продувочных пробок в ковше можно выделить четыре основные зоны циркуляции расплава: две центральные, расположенные вдоль оси ковша, и две боковые, расположенные возле стенок. Потоки с минимальной скоростью (0,1 ... 0,14 м/с) наблюдаются преимущественно возле днища. В зоне шлакового пояса образуются довольно активные потоки со скоростями 0,5-0,6 м/с, которые будут влиять на футеровку этой зоны. Наряду с похожестью наблюдаемых картин движения потоков при различном расположении продувочных пробок, можно выделить и ряд отличий. Так при размещении отверстий на расстоянии  $r=0,25$  м два восходящих потока вначале сближаются, практически сливаясь в один, а затем снова расходятся. При этом в расплаве возникают еще две небольшие зоны циркуляции, расположенные между осью ковша и внутренними сторонами потоков. Для случая  $r=0,65$  м с внешней стороны каждого из восходящих потоков образуется три зоны циркуляции расплава: основная, занимающая около  $2/3$  общего объема и расположенная вдоль всей области шлакового пояса и половины рабочей части футеровки, и две небольшие малоскоростные зоны циркуляции, возникающие под нею. Смещение продувочных отверстий к стенкам ковша ( $r=0,85$  м) приводит к тому, что в верхней части расплава в области шлакового пояса образуются две дополнительные зоны циркуляции, а между внешней стороной восходящих потоков и стенкой ковша в области рабочей футеровки возникает зона циркуляции с невысокими скоростями. Таким образом, наиболее рациональным расположением пробок можно считать расстояние  $r=0,25...0,65$  м. Кроме того, моделирование показало, что

при объемном расходе 0,5–0,8 м<sup>3</sup>/мин восходящая газометаллическая струя пробивает слой шлака, образуя на поверхности пятно, что является нежелательным явлением. Поэтому рекомендуется расход аргона регулировать в диапазоне 0,25...0,4 м<sup>3</sup>/мин.

Таким образом, исследование процесса перемешивания с помощью математической модели позволило определить рациональное расположение двух продувочных пробок и рекомендовать оптимальные параметры продувки расплава на всех стадиях внепечной обработки стали (установка ковш–печь - VD/VOD вакууматор). Так, расположение продувочных пробок на расстоянии  $r=0,55...0,75$  м; в случае использования двух пробок угол между ними должен составлять 90°, а общий расход аргона в зависимости от задач входе технологического процесса должен изменяться в пределах 0,1...0,7 м<sup>3</sup>/мин, для предотвращения пробоя слоя шлака газометаллической струей расход аргона рекомендуется изменять от 0,25 до 0,4 м<sup>3</sup>/мин.

С 1985 года, прошли испытания опытно-промышленного комплекса, в котором органично совмещались процесс разлива стали на заготовку и ее горячая прокатка. В последствии в практику создания высокоэффективных технологических систем прочно вошло понятие литейно-прокатный модуль (ЛПМ). В настоящее время по такой схеме работают около 25 мини-заводов по производству плоского проката. Известно также, что данная идея реализована и при производстве длинномерного проката (завод ABS в Италии), где процесс реализуется по схеме бесконечной разлива-прокатки и сварки-прокатки. Безусловно, что такая технологическая схема получения проката реализуемая в условиях мини-завода имеет огромный потенциал в части экономии энергетических ресурсов, в связи с тем, что более чем в пять раз снижается расход природного газа для нагрева заготовки перед прокаткой. При существенном снижении затрат на капитальное строительство данная технологическая схема обеспечивает экономическую мотивацию ее дальнейшего развития и совершенствования.

В целом технологическое отставание Украины в части развития электросталеплавильного производства и замены энергоемкого мартеновского происходит в условиях повышения цены импортируемых энергоносителей. На наш взгляд, в недалекой перспективе это приведет к существенному снижению конкурентоспособности отечественных металлургических заводов и кризисным явлениям в национальной металлургии.