

присутствии железа [8]. Все эти изменения в строении металла зон воздействия и вызывают упрочнение (таблица).

В зоне воздействия наблюдали также порообразование, наиболее интенсивно развивающееся в сплаве АК7. Безусловно, что наблюдавшиеся нами структурные изменения проявляются на физико-механических и коррозионных свойствах, как локальных зон воздействия, так и реальных изделий в целом, что подтверждается данными по фазовому составу и коррозионной стойкости алюминия с боридными покрытиями, полученными в электролитной плазме [9].

Вывод. Кратковременное воздействие электродуговой углеграфитовой плазмы вызывает модифицирующий эффект в приповерхностном слое образцов вторичных алюминиевых сплавов и сопровождается измельчением структурных составляющих, наполнением графитными частицами, повышением микротвердости с одновременным ухудшением качества поверхности.

Список литературы

1. Кулагин И.Д., Борзов А.Н., Краснов Ю.И. Дуговая цементация рабочих поверхностей стальных деталей // ФХОМ, 1986. — № 6. — С. 35–38.
2. Алимов В.И., Крымов В.Н., Кундос Ю.М. Локальная химико-термическая обработка износостойких деталей в плазме дугового разряда // Сб. трудов международной научно-техн. конф. в г. Севастополе 9-12.09.1997 «Прогрессивные технологии машиностроения и современность». — Донецк: ДонГТУ, 1997. — С. 9–10.
3. Алимов В.И., Крымов В.Н. Поверхностное упрочнение сталей электродуговой плазмой // Збірник наукових праць ДонДТУ. Металургія. Вип. 14. — Донецьк, ДонДТУ, 1999. — С. 137–143.
4. Аристова Н.А., Колобнев И.Ф. Термическая обработка литейных алюминиевых сплавов. — М.: Металлургия, 1977. — 144 с.
5. Баранов А.А., Микуляк О.П., Резняков А.А. Технология вторичных цветных металлов и сплавов. — Киев: «Вища школа», 1988. — 163 с.
6. Эллиот Р.П. Структуры двойных сплавов. Справочник. Т. 1. Пер. с англ. А.М. Захарова и др. под ред. И.И. Новикова и И.Л. Рогельберга. — М.: «Металлургия», 1970. — 456 с.
7. Диаграммы состояния двойных и многокомпонентных систем на основе железа: Справ. изд. / О.А. Банных, П.Б. Будберг, С.П. Алисова и др. — М.: Металлургия, 1986. — 440 с.
8. Смоляренко Д.А. Качество углеродистой стали. Изд-е 3-е. — М.: Металлургия, 1977. — 271 с.
9. Федоренкова Л.И., Спиридонова И.М. Некоторые свойства боридных покрытий на алюминии, полученных в электролитной плазме // Оборудование и технология термической обработки металлов и сплавов в машиностроении (часть 2). Сб. докладов 2-го международного симпозиума. — Харьков: ИПЦ «Контраст», 2001. — 228 с.

© Алимов В.И., Шевелев А.И., Крымов В.Н., 2002

СМИРНОВ А.Н. (ДонНТУ), ЦУПРУН А.Ю. (НПО «ДОНИКС»), ПИМОНЕНКО В.А., ПАНОВ В.В. (ДП «УБиВТ»)

ОПТИМИЗАЦИЯ РАБОТЫ КОВШЕЙ ДЛЯ АГРЕГАТА «ПЕЧЬ-КОВШ» В УСЛОВИЯХ ДП «УБиВТ»

Рассмотрено влияние различных методов перемешивания на протекание гидродинамических процессов и химических реакций в сталеразливочном ковше. Исследования выполнены в 18-тонном ковше для электромагнитного перемешивания и продувки металла газом. Показано, что процессы десульфурации наиболее активно протекают при продувке металла газом, а вторичное окисление металла оказывается меньшим при использовании электромагнитного перемешивания. Рассмотрены результаты оптимизации и повышения стойкости рабочего слоя огнеупоров в ковше.

Одной из важнейших задач, стоящих перед производителями стали является получение продукции заданного уровня качества с минимально возможными издержками. Анализ современных тенденций развития мировой черной металлургии и динамика развития рынка металлопродукции позволяют утверждать, что по широкому спектру видов продукции целесообразным представляется построение металлургического предприятия по принципу «мини-завод» [1], т.е. завода, обеспечивающего минимальные затраты на производство, минимальные выбросы технологических отходов в окружающую среду, минимальные простои оборудования и агрегатов, минимальную длительность производственного цикла при максимальной производительности, объемах продаж, рентабельности и т.п.

Особое место при этом занимают мини-заводы малой мощности (так называемые «микро-заводы»), специализирующиеся на определенном (фиксированном) рынке металлопродукции высокого качества. Для заводов такого типа проблематика сокращения издержек производства имеет свою специфику, которая заключается в необходимости согласования работы основных технологических агрегатов «электродуговая печь» — «печь-ковш» — «машина непрерывной разливки» при достаточно низком объеме годовой производительности. Характерным примером такого типа предприятия является Дочернее предприятие «Завод утяжеленных и ведущих бурильных труб» (УБиВТ) Сумского научно-производственного машиностроительного объединения с номинальным годовым объемом производства около 100 тыс. т стали.

Завод УБиВТ изготавливает восемь типов (177 типоразмеров) бурильных и ведущих труб из низколегированной стали, занимая примерно 50% мирового рынка. Он состоит из двух гибких автоматизированных производств — металлургического и механообрабатывающего. Существующая технологическая схема позволяет с минимальными потерями рабочего времени переходить от производства одного типа труб к другому. Качество продукции завода соответствует лучшим мировым стандартам и подтверждено сертификатом Американского нефтяного института.

Сталеплавильный цех состоит из отделения подготовки металлолома, сталеплавильного участка (две трехфазных дуговых сталеплавильных печи номинальной вместимостью 18 т каждая), установки для внепечной обработки стали типа «печь-ковш» (ASEA-SKF), установки вакуумно-кислородного обезуглероживания (VOD), машины для непрерывной разливки стали на блюмы сечением от 190×190 мм до 650×650 мм, участка сифонной разливки стали в слитки и пр.

На практике установлено, что определенное сокращение издержек на производство 1 т стали удастся достигнуть при согласованной работе дуговых сталеплавильных печей и машины непрерывной разливки стали, что во многом определяется стабильной и эффективной работой установки «печь-ковш». Она состоит из трех постов, соединенных между собой передвижной тележкой. На первом посту при помощи машины для скачивания шлака производится удаление печного шлака из ковша, затем на втором — наведение синтетического высокоосновного шлака, подогрев стали и добавка ферросплавов и, наконец, на третьем посту выполняется вакуумирование жидкой стали (до содержания водорода не более 2 ppm). Фактический цикл обработки стали на установке «печь-ковш» составляет обычно 100–110 минут и обуславливается условиями разливки стали на МНЛЗ длинными сериями.

Условия эксплуатации установки «печь-ковш» ДП «УБиВТ» имеют ряд характерных особенностей, обусловленных, прежде всего, достаточно небольшим объемом металла в ковше, что позволяет обеспечивать эффективное перемешивание расплава различными методами. В качестве базовых методов на практике используются либо перемешивание с помощью электромагнитного поля, либо посредством продувки металла аргоном через донный продувочный блок [2]. Как видно из рис.1, общая картина разви-

тия конвективных потоков для этих методов имеет принципиальные отличия, заключающиеся в различном расположении зон с наиболее интенсивным перемешиванием. Учет условий и интенсивности перемешивания металла в ковше позволяет соответствующим образом скорректировать процесс внепечной обработки в целом.

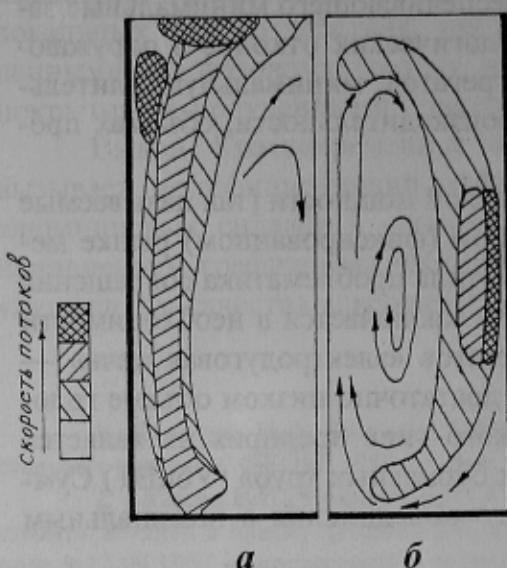


Рис.1. Схематическое представление характера перемещения потоков металла при продувке газом (а) и при электромагнитном перемешивании (б)

Оценка времени перемешивания металла в ковше, выполненная посредством введения в расплав фиксированного количества (500 кг) ферроникеля ФН-5 (30% Ni) и определения времени выравнивания концентрации никеля в объеме ковша, показала, что для широкого диапазона изменения величины мощности перемешивания (100–600 Вт/т) интенсивность электромагнитного перемешивания примерно на 20–30% ниже, чем при продувке металла газом. Это, видимо, следует связывать с тем, что при продувке аргоном в зону активного принудительного перемешивания вовлекаются значительно большие объемы металла. Кроме того, при выходе пузырьков газа из жидкой ванны в атмосферу интенсифицируется перемешивание верхних слоев металла в ковше (рис. 1).

В технологическом плане интенсификация перемешивания металла в зоне, непосредственно прилегающей к шлаку, имеет большое значение. Это, в первую очередь, относится к эффективности десульфурации стали синтетическим шлаком.

В промышленных условиях ЭСПЦ ДП «УБиВТ» выполнена серия экспериментов по оценке эффективности удаления серы различными методами. Для обработки использовался шлак следующего химического состава: 50–60% CaO; 10–15% SiO₂; 6–8% MgO; 15–20% Al₂O₃; FeO < 1,5%.

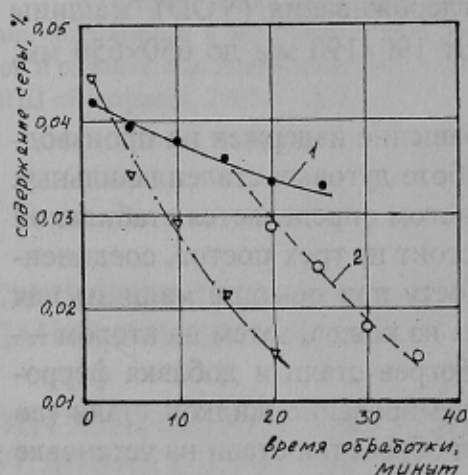


Рис.2. Динамика десульфурации стали синтетическим шлаком при электромагнитном перемешивании в ковше (1); в процессе вакуумирования (2); при продувке аргоном (3)

Сравнение полученных данных выполнено на рис. 2. Обобщая полученные результаты, отметим, что эффективность процесса десульфурации в значительной степени зависит от интенсивности перемешивания металла и шлака, что в наилучшей степени достигается при продувке жидкой ванны газом. Причем продувка производится под нагревательным сводом с незначительным оголением зеркала, что предупреждает вторичное окисление стали. По сути, применение только электромагнитного перемешивания (кривая 1) не может обеспечить быстрого и эффективного удаления серы из металла. Применение метода электромагнитного перемешивания в процессе вакуумирования существенно повышает степень десульфурации стали при прочих равных условиях. Это следует связывать с дополнительным перемешиванием металла со шлаком в ходе интенсивного всплытия пузырьков СО. При этом дополнительной продувки металла инертным газом не требуется, что исключает уста-

новку продувочного блока в днище ковша. Между тем продувка металла инертным газом при отсутствии вакуумной обработки заметно повышает скорость удаления серы, что позволяет рекомендовать такую технологию для сталей, которые не подвергаются вакуумированию.

Сопоставительный анализ различий между методом электромагнитного перемешивания и методом продувки металла аргоном через пористый блок приведены в табл. 1.

Таблица 1. Сравнение характерных технологических эффектов для методов электромагнитного перемешивания и продувки металла аргоном через пористый блок

№ п/п	Технологический признак	Электромагнитное перемешивание	Продувка металла инертным газом
1	Характеристика фазового состава жидкой ванны	Жидкая ванна представлена одной фазой — расплавленным металлом	Жидкая ванна представлена, по меньшей мере, двумя фазами — расплавленный металл и вдуваемый газ
2	Взаимодействие со шлаком	Шлак в жидкую ванну металла практически не вовлекается	Шлак вовлекается в перемешивание достаточно активно (в зависимости от интенсивности продувки)
3	Характеристика принудительных конвективных потоков	Потоки носят установившийся характер, имея максимальную скорость вблизи стенки ковша со стороны индуктора (рис. 1, а)	Конвективные потоки развиваются в соответствии с представлениями о всплывающем вверх газометаллическом столбе; при этом развитие конвективных потоков характеризуется высокой турбулентностью (рис. 1, б)
4	Интенсивность перемешивания	Достаточно высокая, но в жидкой ванне имеются застойные зоны (с низкой скоростью движения потоков)	Интенсивность перемешивания примерно на 20-30% выше (при тех же энергетических параметрах), чем при электромагнитном; в перемешивание вовлекается практически весь объем жидкой ванны
5	Вторичное окисление стали	В ходе электромагнитного перемешивания металла практически не наблюдается	Достаточно высокое в силу оголения части зеркала металла в процессе продувки
6	Влияние на износ огнеупоров	Значительно усиливает износ стенки ковша в зоне расположения индуктора	Усиливает износ стенки ковша со стороны установки продувочного узла, а также способствует износу шлакового пояса в зоне выхода пузырьков газа

Одним из наиболее важных факторов, обеспечивающих высокие функциональные возможности агрегатов «печь-ковш» является высокая стойкость футеровки ковша. Практика эксплуатации агрегата «печь-ковш» подтвердила, что условия работы футеровки в отдельных зонах ковша значительно отличаются и соответственно износ ее в разных зонах может значительно изменяться [3].

Основными зонами повышенного износа сталеразливочных ковшей для агрегатов «печь-ковш» являются:

- зона шлакового пояса (область, прилегающая к шлаковому поясу);
- зона контакта футеровки (стена) с быстро движущимися восходящими потоками (при продувке инертным газом);
- зона, соответствующая расположению индуктора (для электромагнитного перемешивания);
- область днища, непосредственно прилегающая к продувочному узлу;
- гнездовой блок продувочного узла;

— продувочный узел.

На практике скорость износа вышеперечисленных зон достаточно сильно различается между собой и в несколько раз превышает износ основной поверхности футеровки ковша (табл.2). Соответственно повышенный (критический) износ одной из зон предполагает вывод ковша из эксплуатации с целью локального ремонта футеровки или ее полной замены.

Таблица 2. Примерная скорость износа огнеупоров в различных зонах сталеразливочных ковшей агрегата «печь-ковш» (мм/плавка)

Зона повышенного износа	Электромагнитное перемешивание и вакуумирование	Продувка аргоном и вакуумирование	Продувка аргоном
Шлаковый пояс	3,0–3,5	3,5–4,0	2,5–3,0
Стена ковша в месте контакта с максимально высокими по скорости конвективными потоками	2,5–3,0	2,5–3,0	2,5–3,0
Стена ковша в остальных зонах	1,5–2,0	1,5–2,5	1,5–2,5
Днище ковша	1,5–2,0	2,0–2,5	2,0–2,5
Продувочный узел	Нет	5,0–6,0	5,0–6,0
Гнездовой блок (стойкость в плавках до замены)	20–23	22–25	22–25

Поэтому наиболее рациональной представляется футеровка ковша по мультизональному принципу: использование более прочных огнеупоров в зонах повышенного износа и обеспечение кратной общему времени эксплуатации периодичности замены наиболее изнашивающихся элементов (например, продувочного узла или шлакового пояса).

На рис.3 приведена характерная схема футеровки ковша (для электромагнитного перемешивания) по принципу обеспечения равностойкости всего рабочего слоя.

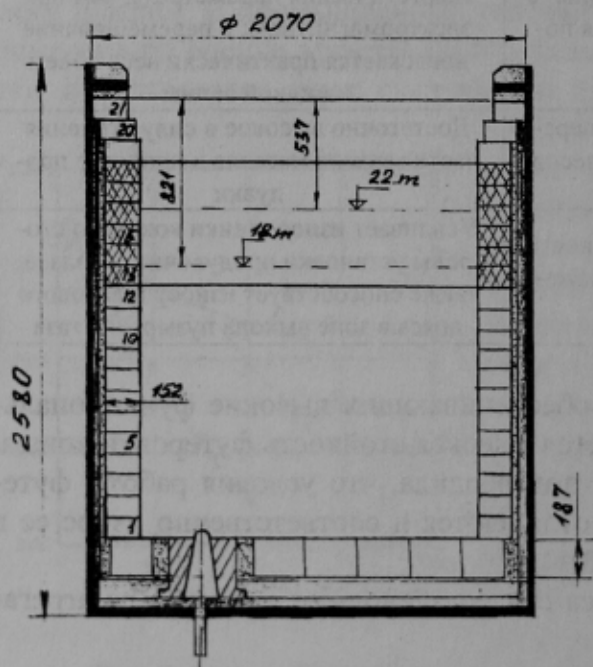


Рис.3. Схема футеровки сталеразливочного ковша агрегата «печь-ковш» для ЭСПЦ ДП «УБиВТ», обеспечивающая равностойкость отдельных зон футеровки

Зону шлакового пояса (I) рекомендуется выполнять из высококачественного периклазоуглеродистого термообработанного кирпича ($MgO > 97,5\%$; $CaO/SiO_2 > 2,0\%$; $Fe_2O_3 < 0,5\%$; $Al_2O_3 < 0,2\%$; остаточный углерод 11–12%) с добавлением антиоксидантов и органической (полимерной) связки. Такие высокие требования к огнеупорам в шлаковом поясе обусловлены, прежде всего, тем фактом, что для ковшей небольшой емкости расположение электродов при подогреве металла оказывается весьма близким к стенкам ковша, что существенно повышает скорость разрушения огнеупоров в сравнение с ковшами большой емкости (и диаметра).

Стены ковша (II) и днище ковша (III) рекомендуется выполнять из высококачественного периклазоуглеродистого термообработанного кирпича ($MgO > 95,5\%$; $SiO_2 < 1,0\%$; $Fe_2O_3 < 0,5\%$; $Al_2O_3 < 0,2\%$; остаточный углерод 11–12%) с добавлением антиоксидантов и органической (полимерной) связки. Альтернативным вариантом может быть применение более дешевых смолодоломитовых кирпичей ($MgO = 45\%$; $CaO = 53\%$; $SiO_2 < 1,0\%$; $Fe_2O_3 < 0,8\%$; остаточный углерод 7,7%). Особенностью применения смолодоломитовых изделий является ужесточение контроля за температурой футеровки в процессе эксплуатации ковша, которая не должна опускаться ниже $900^\circ C$. Кроме того, характерной особенностью смолодоломитовых огнеупоров является обязательное требования исключения их контакта с влагой как в процессе хранения и транспортировки, так и в процессе кладки.

В целом рассмотренная схема футеровки обеспечивает работу ковша на уровне 28–30 плавов в зависимости от марочного состава сталей при минимальной остаточной толщине рабочего слоя ~50 мм.

Таким образом, выполненные исследования подтверждают возможность снижения удельных затрат на огнеупоры для сталеразливочных ковшей агрегатов «печь-ковш» малых объемов при условии обеспечения рациональной конструкции огнеупорной футеровки на базе принципа равностойкости. При этом удельные затраты на огнеупоры могут быть снижены на 30–40%. Следует отметить, что при использовании электромагнитного перемешивания стойкость футеровки оказывается несколько выше, что, видимо, объясняется тем, что при электромагнитном перемешивании скорости потоков металла в верхних слоях металла и шлаковой зоне значительно ниже, чем при продувке аргоном. Помимо этого при электромагнитном перемешивании одновременно снижаются затраты на огнеупоры за счет исключения из спецификации огнеупорных изделий продувочного узла. Это обеспечивает снижение удельных затрат на огнеупоры в среднем на 1,0–1,5 доллара США на тонну стали.

В целом технологическая схема агрегата «печь-ковш» с применением электромагнитного перемешивания для ковшей малой емкости представляется вполне конкурентоспособной в сравнении с продувкой аргоном в случае ее использования в технологической цепочке с вакуумированием стали.

Дальнейшее развитие концепции гармонизации работы футеровки ковшей для агрегатов «печь-ковш» представляется целесообразным реализовать при использовании принципа кратности стойкости различных зон футеровки. Например, в условиях ДП «УБиВТ» для футеровки стен и днища ковша были использованы алюмопериклазошпинелидные термообработанные кирпичи, стойкость которых составила в среднем 49–51 плавку. Выбор этих изделий объясняется их высокой стойкостью и способностью достаточно хорошо работать в условиях теплосмен. При этом после 24–25 плавов производилась технологическая замена шлакового пояса, выполненного из высококачественного периклазоуглеродистого термообработанного кирпича и гнездового блока. В этом случае удельные затраты на огнеупоры удалось сократить примерно на 15–18%.

Выводы

Промышленные сравнительные исследования эффективности электромагнитного перемешивания металла в ковше и его продувки инертным газом позволили установить следующие особенности:

— при электромагнитном перемешивании металла поверхностные его слои практически не вовлекаются в перемешивание, что практически исключает эффективную десульфурацию стали синтетическим шлаком; между тем в случае вакуумирования стали дополнительное перемешивание достигается за счет всплывающих пузырьков СО, что обеспечивает интенсивное протекание процесса десульфурации;

— интенсивность перемешивания металла инертным газом примерно на 20–30% выше, чем при электромагнитном перемешивании в достаточно широком диапазоне величин мощности перемешивания; вместе с тем оба метода обеспечивают необходимую интенсивность перемешивания для реализации технологического процесса внепечной обработки;

— в случае применения электромагнитного перемешивания стойкость футеровки сталеразливочного ковша оказывается несколько выше, чем при продувке аргоном, что в совокупности с исключением необходимости установки продувочного узла в днище обеспечивает заметную экономию в удельном расходе огнеупоров.

Список литературы

1. Минаев А.А., Смирнов А.Н. Тенденции развития концепции металлургических мини-заводов и комплексов / Наукові праці ДонДТУ. Металургія. Вип.31. — Донецьк, ДонГТУ, 2001. — С. 8–19.
2. Berg B., Carlsson G., Bramming M. Ladle Metallurgy — Influence of Different Stirring Methods / Scandinavian Journal of Metallurgy, 1985. — Nj 14. — P. 299–305.
3. Смирнов А.Н., Минц А.Я., Гиниятуллин Р.В. Исследование износа футеровки агрегата ковш-печь в условиях современного металлургического мини-завода / Черная металлургия. Бюл. Ин-та «Черметинформация», 2001. — Вып. 10. — С. 40–47.

© Смирнов А.Н., Цупрун А.Ю., Пимоненко В.А., Панов В.В., 2002

БЕЛОСВЕТОВ В.В., МИТЬЕВ А.П., КОЗАЧЕК В.В. (ДонНТУ)

ВЕЛИЧИНА КОЭФФИЦИЕНТА НАКОПЛЕНИЯ ЗАПАСА ПРОВОЛОКИ И ЕГО ФИЗИЧЕСКИЙ СМЫСЛ

Коэффициент накопления запаса проволоки приобретает физический смысл и становится управляющим параметром процесса многократного волочения если он рассчитывается по формуле авторов, учитывающий поле допусков на готовую продукцию.

Известно, что для уменьшения скручивания проволоки на станах магазинного типа значение коэффициента вытяжек по переходам должно быть равно $\mu = c\gamma$. Здесь γ — кинематическая вытяжка (отношение окружных скоростей барабанов смежных блоков), $\gamma > 1$; c — коэффициент накопления запаса проволоки, по [1] $c = 1,03–1,06$.

В работе [1] произведен качественный анализ влияния величины коэффициента накопления запаса проволоки на ход процесса. Количественных зависимостей для назначения величины c нами в технической литературе не обнаружено. Их можно получить, раскрыв физический смысл коэффициента c . Для этой цели нами рассмотрена работа стана многократного волочения с накоплением запаса проволоки, состоящего из двух блоков.