

3-4
2005

В номере - материалы XI Международной
научно-технической конференции
**“ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА
СТАЛЕПЛАВИЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ”**

Посвящается
105-летию
подготовки
инженеров-
металлургов
в Украине,
75-летию
ДМетИ,
40-летию
конференции



МІСЦЕ
УКРАЇНИ
наука техніка технологія бізнес

плав незначительно влияет на время плавления частицы ферросплава, так как, попадая в железоуглеродистый расплав с некоторой начальной скоростью, частица начинает тормозиться и в какой-то момент приобретает постоянную скорость движения, равную скорости равномерного свободного осаждения. Чем мельче частица и, чем больше разность плотностей материала частицы и расплава, тем быстрее достигается эта скорость. Как следует из расчета, торможение движения частицы от 25 м/сек. до нулевого значения, при ее попадании в жидкий металл, происходит за 0,002 сек. для частиц СК30 диаметром 0,4 мм и за 0,01 сек. для частиц СК30 диаметром 6 мм. Далее частицы начинают всплывать со скоростями 0,088 и 0,45 м/сек. соответственно крупности, незначительно изменяющимися в зависимости от изменения размера частицы.

Сравнение методов ввода ферросплавов куском, порошковой проволокой и вдуванием порошков показало, что легко окисляемые ферросплавы, имеющие плотность менее 5000 кг/м³, (например, силикокальций) вводить куском нецелесообразно, так как они всплывают на поверхность металла (из-за малой плотности), сравнительно долго плавятся и подвергаются значительному окислению. Такие ферросплавы могут успешно вводиться в сталь в виде порошковой проволоки и инъекционным методом [4].

В настоящее время на металлургических заводах России силикокальций вводится, в основном, порошковой проволокой. Практика работы ОАО «Нижнетагильский металлургический комбинат» показала, что усвоение кальция сталью при вводе кускового силикокальция составляет 7 %,

А.Н.Смирнов, Е.В.Ошовская, И.Н.Салмаш

а порошковой проволокой 22 % [5]. В связи с этим обработка стали порошковой проволокой оказалась дешевле, чем кусковым силикокальцием.

Инъекционный метод ввода силикокальция позволяет значительно увеличить скорость подачи силикокальция в расплав по сравнению с порошковой проволокой (до 70 кг/мин против 15-25 кг/мин). Угар кальция, как и при вводе проволоки, значительно ниже, чем при вводе кускового силикокальция. В связи с этим инъекционный метод ввода силикокальция, как и других ферросплавов, достаточно распространенный за рубежом, должен найти применение в отечественном сталеплавильном производстве.

Литература

1. Некрасов А.В., Лозова Е.Ю., Носков А.С., Жучков В.И. Математическое моделирование процесса плавления ферросплавов в железоуглеродистом расплаве. Моделирование, программное обеспечение и наукоемкие технологии в металлургии. // Труды Всероссийской научно-технической конференции. Новокузнецк. 2001. С.213-221.
2. Шешуков О.Ю., Жучков В.И., Ярошенко Ю.Г. Изучение теплофизических характеристик кремнистых ферросплавов. // Электротехнология, №10, 2002. С. 20-25.
3. Дюжин Д.А., Беть С.Ю., Гринберг С.Е., Кисиленко В.В., Онищук В.П. Внепечная обработка расплава порошковыми проволоками. – Донецк, ООО «Юго-Восток», 2002. – 296 с.
4. Жучков В.И., Леонтьев Л.И., Лозова Е.Ю., Шешуков О.Ю. Технология ввода ферросплавов в железоуглеродистый расплав порошковой проволокой. // Препринт - Екатеринбург: Институт металлургии УрО РАН, 1998. 52 с.
5. Виноградов С.В., Кромм В.В., Жучков В.И. Эффективность различных способов раскисления стали при внепечной обработке. // Электротехнология, № 6, 2004. С.21-23.

УДК 669.141

Исследование термических напряжений в футеровке установок «КОВШ-ПЕЧЬ»

Разработанная компьютерная модель установки ковш-печь позволяет моделировать температурные поля и вызванные ими напряжения в огнеупорах футеровки ковша при различных режимах эксплуатации, а также анализировать возможность применения различных огнеупорных материалов в принятой схеме футеровки.

В настоящее время для проведения внепечной обработки широко используются установки ковш-печь. Эффективное и экономически выгодное функционирование данных установок во многом обуславливается стойкостью огнеупоров футеровки. Зарубежные и отечественные специалисты [1-3] работают над созданием оптимальных по критерию равной стойкости схем футеровок установок ковш-печь. Схемы футеровок, используемые в современных установках ковш-печь, можно разделить на три группы [3]: 1) полностью из кирпича; 2) днище – из огнеупорного бетона, стены и шлаковый пояс – из кирпича; 3) днище и стены – из огнеупорного кирпича, шлаковый пояс – из кирпича. Для всех перечисленных схем футеровок стойкость ковша определяется стойкостью огнеупоров шлакового пояса [1-3], которая зависит от условий эксплуатации; технических характеристик применяемых огнеупоров; схемы футеровки. Однако, в отдельных случаях отмечается низкая стойкость футеровки стен в зоне подшлакового пояса. Кроме того низкой стойкостью характеризуются некоторые участки футеровки днища и стен, находящиеся в зоне интенсивного воздействия потоков металла в ходе донной продувки. В связи с этим актуальным направлением является разработка компьютерных моделей установки ковш-печь, с помощью которых специалисты могут исследовать температурное и напряженное состояние футеровки ковша в различных

режимах эксплуатации установки; рассматривать альтернативные схемы футеровки с применением различных огнеупорных материалов, сопоставляя их теплофизические, химические и износостойкие свойства; оценивать стойкость огнеупоров.

В настоящей статье представлены принципы построения и результаты использования компьютерной модели установки ковш-печь вместимостью 130 т. Модель разработана в среде прикладного пакета ANSYS с использованием модуля гидродинамического анализа FLOTTRAN. Порядок построения модели включал следующие этапы.

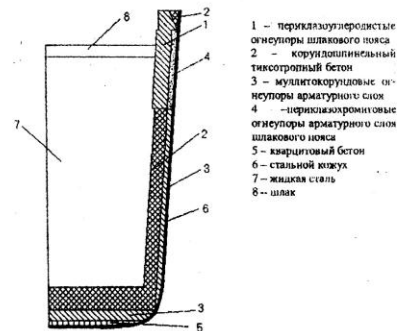


Рисунок 1- Схема геометрической модели установки ковш-печь

1. Создание геометрической модели установки ковш-печь (рисунок 1) реализующей схему футеровки, в которой

днище и стены выполнены из корундошпинельного тиксотропного бетона, а шлаковый пояс – из периклазоуглеродистого кирпича. Арматурный слой футеровки в зонах днища и стен выполнен из муллитокорундовых огнеупоров, а в зоне шлакового пояса – из периклазохромитовых огнеупоров. Кроме того в днище между кожухом и арматурным слоем имеется слой кварцитового бетона. Компонентами геометрической модели также являются жидкая сталь и шлак.

2. Задание теплофизических и механических свойств компонентов геометрической модели установки, т.е. стального кожуха, огнеупоров футеровки, жидкой стали и шлака (таблица 1).

3. Решение задачи нестационарной теплопроводности с учетом естественной конвекции жидкой стали для получения распределения температур в футеровке ковша при эксплуатации ковша в режиме выдержки.

4. Решение задачи о термических напряжениях в огнеупорах футеровки в режиме выдержки ковша.

Таблица 1 – Теплофизические свойства компонентов футеровки

Компонент футеровки	Теплопроводность, Вт/(м·К)		Теплоемкость, Дж/(кг·К)		Плотность, кг/м³
	500 °С	1000 °С	1000 °С	1360	
Периклазоуглеродистые огнеупоры	500 °С	11	1000 °С	1360	3000
	1000 °С	9			
Корундошпинельный тиксотропный бетон	400 °С	3,8	400 °С	0,97	3050
	800 °С	2,6	600 °С	0,98	
	1200 °С	2,1	1000 °С	1,07	
			1200 °С	1,11	
Муллитокорундовые огнеупоры	100 °С	0,9	100 °С	840	1800 (с порами)
	500 °С	1,1	500 °С	960	
	1100 °С	1,5	1000 °С	1120	2550 (без пор)
	1600 °С	1,8	1500 °С	1280	
Периклазохромитовые огнеупоры	100 °С	2,5	100 °С	1000	2950
	500 °С	2,2	500 °С	920	
	1100 °С	1,8	1100 °С	1200	
	1600 °С	1,5	1600 °С	1440	
Кварцитовый бетон	100 °С	1,0	100 °С	780	1900 (с порами)
	500 °С	1,3	500 °С	930	
	1100 °С	1,7	1000 °С	1140	2400 (без пор)
	1600 °С	2,0	1400 °С	1200	

При решении задачи о нестационарной теплопроводности рассматривались следующие исходные предпосылки. Ковш наполнен жидкой сталью, на поверхности стали, расположен слой шлака определенной толщины. Температура жидкой стали – 1620 °С, температура шлака – 1660 °С. Внутренние стенки ковша нагреты до температуры 1500 °С, температура внешней среды равна 30 °С. Теплопередача осуществляется от расплава к внутренней стенке, дну ковша и шлаку; от шлака в к внутренней стенке ковша. Кроме того протекают процессы теплоотдачи излучением от кожуха и зеркала шлака в окружающую среду. В объеме жидкой стали, протекает процесс естественной конвекции. Длительность периода выдержки наполненного ковша составляла 10 мин.

В результате решения задачи было получено распределение температуры во всех рассмотренных компонентах установки ковш-печь через 5 и 10 мин. (рис.2).

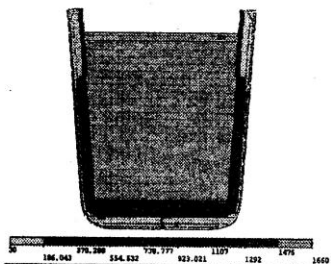
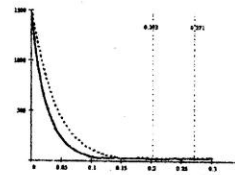


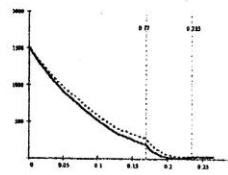
Рис.2. Распределение температуры в компонентах модели через 10 мин.

Установлено, что по мере выдержки ковша в его футеровке происходят следующие явления. Интенсивный тепловой поток, возникающий на границе жидкая сталь (шлак) внутренняя стенка футеровки, вызывает прогрев внутренних слоев футеровки при одновременном понижении температуры стали и шлака в пристеночных слоях. Причем более динамичная теплопередача отмечается в зоне, футерованной периклазоуглеродистым кирпичом, по сравнению со стенами и дном, выполненными из корундошпинельного тиксотропного бетона.

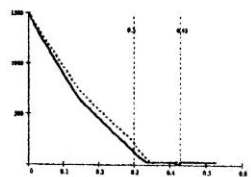
За время выдержки ковша 10 мин. футеровка из периклазоуглеродистого кирпича прогревается на 1/2 ширины, диапазон изменения температуры составляет 1500 ... 100 °С (рис.3а). Бетон в зоне стенок прогревается практически на всю ширину, диапазон его температур выше и составляет 1500 ... 260 °С (рис.3б), диапазон температур бетона в зоне днища ковша составляет 1500 ... 200 °С (рис.3в). Данные явления объясняются различными теплофизическими свойствами используемых материалов, а именно, значительно более высокой температуропроводностью бетонной футеровки, что при одинаковой интенсивности тепловых потоков приводит к более быстрому прогреву зон футеровки ков-



а



б



в

Рис.3. Изменение температуры футеровки ковша в разных зонах: а – шлаковый пояс (периклазоуглеродистый кирпич); б – ребровая зона стен (корундошпинельный бетон); в – зона днища (корундошпинельный бетон)

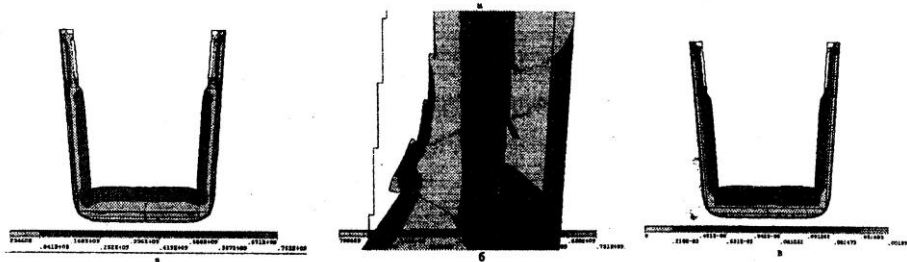


Рис.4. Результаты расчета напряженно-деформированного состояния футеровки ковша
 а - распределение напряжений; б - распределение напряжений (увеличено) в зоне шлакового пояса; в - распределение суммарных деформаций

ша, выполненных из бетона.

Полученная неравномерная картина распределения температурных полей в футеровке ковша свидетельствует о том, что при определенных условиях различные слои футеровки будут расширяться на различные величины, что может способствовать повышенному разрушению огнеупоров на границах различных зон (например, на границе зоны шлакового пояса и футеровки стенок ковша).

Дальнейшее моделирование с учетом установленной картины распределения температур показало, что при выдержке ковша, наполненного сталью, происходит термическая деформация футеровки (рис.4).

Как видно из рис.4б футеровка деформируется неравномерно. Стенки и днище, выполненные из корундошпинельного тиксотропного бетона расширяются. Максимальная суммарная деформация составляет около 2 мм. Футеровка шлакового пояса из периклазоуглеродистых огнеупоров сжимается, максимальная деформация – до 0,6 мм. При этом на участке перехода от периклазоуглеродистых огнеупоров к бетону происходит сдвиг соседних слоев футеровки, что приводит к возникновению значительных концентраторов напряжений (рис.4б), вызывающих разрушение футеровки. Участки футеровки стен и днища, выполненные из муллитокорундовых, периклазохромистых огнеупоров и кварцитового бетона практически не деформируются.

В целом уровень напряжений футеровки составляет

Е.Н. Сигарев

1...80 МПа, что превышает допускаемые значения и свидетельствует о разрушении футеровки как в зоне шлакового пояса, так и в зонах рабочих стен и днища ковша.

Таким образом, в ходе выполненных исследований установлены возможные места, причины возникновения и характер развития повреждений футеровки установки ковш-печь, обуславливающие стойкость футеровки. Разработанная компьютерная модель установки ковш-печь позволяет моделировать температурные поля и вызванные ими напряжения в огнеупорах футеровки ковша при различных режимах эксплуатации, а также анализировать возможность применения различных огнеупорных материалов в принятой схеме футеровки.

Литература

1. Смирнов А.Н., Миц А.Я., Гиниятуллин Р.В. Исследование характера износа футеровки агрегата ковш-печь в условиях современного металлургического мипи-завода // *Электрометаллургия*. – №3. – 2001. – С.26-35.
2. Износ огнеупоров в ковшах установки вакуумирования и рафинирования стали типа «печь-ковш» / Стрехов В.М., Борисовский Е.С., Соколов А.Н. и др. // *Металлург*. – №10. – 1981. – С. 25-26.
3. Опыт применения огнеупорных материалов в футеровке агрегатов ковш-печь / Аксельрод Л.М., Бочаров С.В., Савченко С.Г. и др. // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – №7. – 2004. – С. 45-52.

УДК 669.162.267

Технологические аспекты производства высококачественной стали

Рассмотрен комплекс ресурсосберегающих технологических приемов для получения высококачественной стали.

Сокращение издержек на производство металлопродукции наряду с повышением требований к качеству последней пока остаются одной из наиболее актуальных задач, стоящих перед металлургической отраслью Украины. Сокращение удельного расхода сырья и материалов на современном этапе невозможно без использования эффективной выпечной обработки. Передовые технологии выпечной обработки чугуна обеспечивают получение стали с низким содержанием серы и фосфора. Использование преимуществ малошлаковой технологии конвертирования малокремнистого чугуна приводит к повышению выхода стали (в среднем на 0,6%), снижению расхода извести (в среднем на 4,6 кг/стали) и дутьевого кислорода. Такой подход, базирующийся на работе доменной печи со шлаками пониженной основности с выпуском чугуна нерегламентированного по

серу и кремнию, обеспечивает повышение производительности доменной печи (в среднем на 1,5%) и экономию кокса (до 10 кг/т чугуна) [1].

Несмотря на использование отдельных элементов комплексных технологий производства высококачественных сталей на передовых металлургических предприятиях дальнего и ближнего зарубежья [2, 3], полноценные энерго- и ресурсосберегающие технологии, в основном, находятся в стадии теоретической проработки и опытно-промышленного опробования.

К недостаткам реализованных комплексных технологий рафинирования относят: сложность и многостадийность обработки с обязательным последовательным скачиванием шлака после удаления кремния и серы; снижение доли лома в шихте конвертерной плавки (снижение температуры чугуна на 100-150°С); дополнительные расходы на рафинирование; задолженность парка ковшей; потери металла со скачиваемыми шлаками (10-23 кг/т чугуна), сложность обработки