

наличии зависимости толщины кристаллизующейся корки от времени процесса кристаллизации в некоторой степенной зависимости. Однако и в этом случае вопрос о значении константы затвердевания остается открытым.

Решение поставленной задачи об изучении динамики роста корки металлических полос в процессе валковой разливки возможно посредством использования более точных методов прикладной математики, в частности, метода Дюзинбера, предполагающего учет движения границы твердой оболочки посредством разностной аппроксимации со вторым порядком точности дифференциального уравнения теплопроводности. Причем такой учет осуществляется косвенно посредством расчета «избыточной» температуры.

Разработанная нами численная модель позволила определить зависимость скорости кристаллизации от теплофизических свойств сплава, его химического состава, геометрических характеристик ВЛПА, частоты вращения валков, температуры заливаемого металла и теплоотвода в пределах лунки жидкого металла.

УДК 621.746.558.086.4

**А. В. Гресс, А. Ю. Омельчук, Я. А. Сорока**

Днепродзержинский государственный технический университет,  
Днепродзержинск

## **ФИЗИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ГИДРОДИНАМИКИ В КОВШАХ МАЛОЙ ВМЕСТИМОСТИ ПРИ КОМБИНИРОВАННОМ СПОСОБЕ ПЕРЕМЕШИВАНИЯ СТАЛИ**

Повышенная скорость теплоотдачи в ковшах малой вместимости вызывает необходимость увеличения интенсивности конвективных потоков посредством применения дополнительных способов перемешивания. Мировой опыт свидетельствует о том, что наилучшие результаты влияния на качество стали достигаются при использовании комбинированных способов перемешивания (электромагнитного с барботажным), поскольку простые методы имеют очевидные недостатки. В силу известной специфики литейных ковшей и застарелости соответствующих исследований, для оптимизации гидродинамических потоков металла в таких агрегатах весьма необходима информация о полных динамиче-

ских характеристиках расплава. Для ее получения целесообразно использовать физическое моделирование.

Поскольку моделируемая среда является гетерофазной (жидкость, газ), масштаб прозрачной физической модели определяли с помощью числа Лапласа. Для пересчета количественных характеристик скоростей перемещения моделирующей гетерофазной среды и времени перемешивания на реальные объекты использовали модифицированное число Фруда и критерий гомохронности, соответственно.

В ходе проведенных лабораторных экспериментов имитировали комбинированный процесс, при котором для обработки металла используется электромагнитное перемешивание совместно с дискретным барботажным (продувка жидкого металла в ковше инертным газом). Циркуляционный контур жидкостных потоков, по форме характерный для электромагнитного способа перемешивания стали в ковше, обеспечивали за счет использования специального устройства, устанавливаемого в заданное место объема модели ковша с помощью разработанных механических креплений с возможностью перемещения устройства в зависимости от задач эксперимента. Потоки металла, индуцируемые УЭМПМ, во всех исследованных случаях направляли сверху вниз. Для моделирования продувки металла инертным газом в днище модели ковша был предусмотрен перемещаемый продувочный узел, в который под избыточным давлением подавали воздух.

В качестве индикаторов движения жидкостных потоков использовали полистироловые шарики диаметром 1-1,5 мм, имеющие нулевую плавучесть (метод «трассеров»). Полученную картину фиксировали на цифровую видеокамеру и обрабатывали на ПЭВМ. Время гомогенизации жидкости определяли по изменению интенсивности окрашивания моделирующей среды.

В процессе холодного моделирования исследовали гидродинамику металлической ванны при различной интенсивности электромагнитного перемешивания и подаче в агрегат газа с удельным расходом 1,2-3,2 л/(мин·т).

На основании анализа результатов экспериментов определено, что наиболее эффективным, с точки зрения уменьшения времени полного перемешивания металла, является расположение места приложения электромагнитного перемешивания на расстоянии 0,5-0,6 высоты ковша при небольших интенсивности потока жидкости и удельном расходе газа, подаваемого через донную фурму, расположенную на 0,5 радиуса у противоположной стенки ковша.

Представляет интерес также расположение зоны электромагнитного воздействия на металл непосредственно над продувочным устройством. В этом случае при некотором уменьшении мощности перемешивания пузырьки газа рассредотачиваются по объему жидкой ванны, способствуя тем самым росту рафинирующей способности ковшовой обработки стали.

В целом, проведенные исследования позволили определить качественные и количественные характеристики поведения металла в объеме литейных ковшей при продувке их газом и одновременном воздействии электромагнитного поля. В частности: расположение активных и застойных зон, их геометрические параметры в зависимости от интенсивности подачи газа и расположения места приложения электромагнитного воздействия, что предполагает возможность обеспечения высокой степени усвоения различных присадок с одновременным ростом рафинирующей способности внепечной обработки.

УДК 621.771.06

**А. В. Гресс, С. А. Стороженко, А. И. Васик**  
Днепродзержинский государственный технический университет,  
Днепродзержинск

### **ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ПЛАВЛЕНИЯ МАТЕРИАЛОВ В ЛИТЕЙНОМ КОВШЕ**

Внепечная обработка жидкой стали является одним из наиболее эффективных направлений коренного повышения качества и потребительских свойств металлопродукции массового назначения в металлургии и, в частности, в литейном производстве.

Исследование процессов внепечного легирования, микролегирования, раскисления, доводки, рафинирования и модифицирования стали экспериментальным путем достаточно трудоемко и требует оригинального и дорогостоящего оборудования, что в ряде случаев практически невозможно. Одним из способов решения поставленной задачи является математическое моделирование.

Среди известных методов математического моделирования процессов плавления следует особо выделить метод с явным выделением границы плавления. В основу метода положена идея динамической адаптации расчетной