

44. Теплообмен и тепловые режимы в промышленных печах / В.И. Тимошпольский, И.А. Трусова, А.Б. Стеблов, И.А. Павлюченков. Мн.: Выш. шк., 1992. 217 с.
45. Бухмиров В.В., Крупенников С.А., Созинова. Оценка эффективности разностных схем решения задачи теплопроводности // Изв. вузов. Черная металлургия. 1999. № 9. С. 84 – 87.
46. Дюзимбер Г.М. Замечания о неявном методе конечно-разностного расчета теплопроводности // Теплопередача. Серия С. 1961. Т. 83. № 1. С. 121 – 122.
47. Grandall S.H. An optimum implicit recurrence formula for the heat conduction equation // Quarterly of Applied Mathematics. 1955. V. 13. P. 318 – 320.
48. Douglas J. The solution of the diffusion equation of a higher order correct difference equation // Journal of Mathematics and Physics. 1956. V. 35. P. 145 – 151.
49. Рихтмайер Р.Д. Разностные методы решения краевых задач. М.: Изд-во иностр. лит., 1960. 263 с.
50. Марчук Г.И., Шайдуров В.В. Повышение точности решения разностных схем. М.: Наука, 1979. 320 с.
51. Richardson L.F. The approximates arithmetical solution by finite differences of physical problems involving differential equations with an application to the stress in a masonry dam // Philos. Trans. Roy. Soc. London. 1910. V. 210. Ser. A. P. 307 – 357.
52. Зенкевич О. Метод конечных элементов в технике. М.: Мир, 1975. 541 с.
53. Митчелл Э., Уэйт Ф. Метод конечных элементов для уравнений с частными производными. М.: Мир, 1981. 216 с.
54. Бреббия К., Зокер С. Применение метода граничных элементов в технике. М.: Мир, 1982. 248 с.
55. Сегерлинг Л. Применения метода конечных элементов. М.: Мир, 1979. 392 с.
56. Reinbard H.J. A-posteriori error estimates and adaptive element computations for circular perturbed one space dimensional parabolic equations. Anal. And Numer. Approaches Asymptotic Probl. Anal. Amsterdam. 1981. P. 213 – 233.
57. Schreuer Y.L. Nonlinear finite-element heat conduction analyses with direct implicit time integration. Numer. Heat Transfer. 1981. V. 4. № 3. P. 377 – 391.
58. Яненко Н.Н. Метод дробных шагов решения многомерных задач математической физики. Новосибирск: Наука, Сиб. отд-ние. 1967. 195 с.
59. Самарский А.А., Гулин А.В. Устойчивость разностных схем. М.: Наука, 1977. 456 с.
60. Марчук Г.И. Методы вычислительной математики. М.: Наука, 1977. 456 с.

УДК 699.046.554

Б.М. НЕМЕНЕНОК, д-р техн. наук, **О.Н. КАЛЕНИК**, канд. техн. наук,
В.Л. ТРИБУШЕВСКИЙ, канд. техн. наук, **Г.В. ПАВЛОВИЧ** (БНТУ)

ОСВОЕНИЕ ПРОИЗВОДСТВА ФЕРРОАЛЮМИНИЯ ДЛЯ РАСКИСЛЕНИЯ СТАЛЕЙ

Раскисление стали является одной из важнейших операций в технологии производства стальных заготовок. Конечное раскисление осуществляется в большинстве случаев алюминием. Его остаточное содержание может оказывать как положительное, так и отрицательное влияние на свой-

ства стали, поэтому при проведении данной операции очень важно обеспечить стабильность протекания процесса раскисления, высокую степень усвоения алюминия и оптимальное его остаточное содержание в стали.

Анализ работы сталелитейных цехов в Республике Беларусь показывает, что для раскисления стали используют в основном раскислители марок АВ по ГОСТ 295 – 79, алюминиевые сплавы АК5М2, АК7. Основной недостаток раскислителей данного типа – их низкая плотность, которая в несколько раз ниже плотности жидкой стали, поэтому при раскислении указанными сплавами имеют место значительные потери металлического алюминия вследствие его окисления кислородом воздуха. Они составляют 50...70% массы вводимой присадки, а в отдельных случаях доходят до 90%. Для устранения данного недостатка и стабилизации усвоения алюминия в стали применяют методы утяжеления с помощью дополнительного груза в виде чугуно-алюминиевых блоков, железоалюминиевого композита. При этом наблюдаются значительные отклонения от химического состава, регламентированного ГОСТ 295 – 79 и ГОСТ 1583 – 93, прежде всего по меди, марганцу и цинку.

Известны также способы погружения раскислителя на штанге. Такая обработка позволяет увеличить эффективность усвоения алюминия на 30...50% по сравнению с присадкой чушек в ковш под струю расплава. Существуют более усовершенствованные методы ввода раскислителей в сталь путем выстреливания алюминиевых пуль, впрыскивания жидкого алюминия либо высокоскоростного введения в ковш алюминиевой проволоки. Большинство указанных методов успешно используется в большой металлургии, но для условий литейного производства такие технологии неприемлемы.

Заслуживает внимания технология раскисления стали с использованием ферроалюминия, однако применение для этих целей материалов, импортируемых из Украины и Российской Федерации, вызывает увеличение стоимости готовой продукции. Поэтому представляло интерес использование для производства ферроалюминия отходов цветно-литейного производства.

Научно-исследовательская лаборатория ресурсосберегающих технологий (г. Минск) совместно с ООО НПФ «Металлон» (г. Осиповичи) разработала и внедрила процесс получения ферроалюминия с различным содержанием железа для раскисления стали. Разработаны технические условия ТУ 700028768.002 – 2003 «Алюминий для раскисления стали» марок АВ70 – АВ30 с более низким содержанием алюминия. В опытных расплавах содержание железа варьировали от 7,0 до 31,0%. Полученный ферроалюминий был опробован в качестве раскислителя в условиях УПП «Универсал-Лит» (г. Солигорск). Процесс раскисления осуществлялся в 8-тонной печи на сталях марок 35Л, 45Л, 110Г13Л при получении крупногабаритного литья в песчано-глинистые формы. Раскисление велось в два этапа. На первом этапе половина заданного количества раскислителя вводилась в печь, а вторая часть помещалась в ковш перед выпуском стали. Для контроля процесса раскисления отбирались пробы до и после ввода раскислителя с определением в них остаточного содержания кислорода и алю-

миния. Для экспресс-контроля использовали пробы, отливаемые в чугунный стаканчик. О степени раскисления стали судили по характеру затвердевания пробы. Остаточное содержание кислорода оценивали методом фракционного газового анализа на газоанализаторе ТС-436 в лаборатории РУП «БМЗ». Концентрация кислорода перед раскислением составляла 135...270 ppm.

На рис. 1 представлены сравнительные данные по типам используемых раскислителей для стали марки 35Л. Исходя из полученных данных, можно сделать вывод, что лучшие результаты достигаются при использовании раскислителя, содержащего 30% железа, – АВ40. При этом достигается минимальное остаточное содержание кислорода, что положительно отражается на качестве отливок при снижении расходных характеристик раскислителя по алюминию на 1 т расплава с 0,80...0,75 кг до 0,56 кг. При вводе нового раскислителя в электродуговую печь наблюдается его погружение через слой шлака и быстрое растворение в расплаве ниже уровня зеркала металла, что обеспечивает высокую степень усвоения алюминия. Увеличение расхода ферроалюминия приводит к росту остаточного содержания алюминия в расплаве.

Практические результаты показывают перспективность перехода от стандартных раскислителей к ферроалюминию, который обладает высокой раскислительной способностью и позволяет при меньших добавках алюминия обеспечить высокую эффективность по связыванию кислорода в устойчивые оксиды. Это дает возможность сократить импорт алюминиевых сплавов для раскисления стали и обеспечить литейно-металлургическое производство раскислителями в виде ферроалюминия.

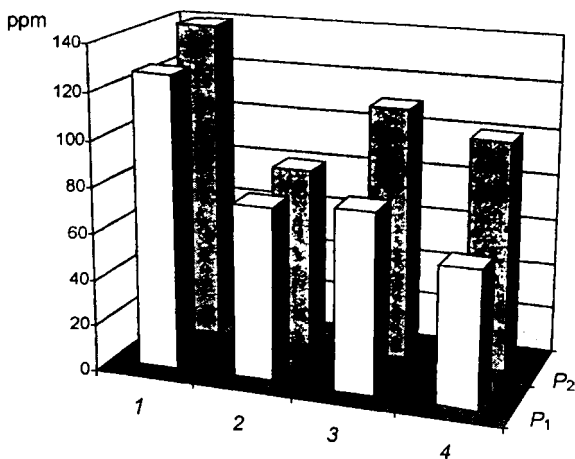


Рис. 1. Влияние типа раскислителя на остаточное содержание кислорода и алюминия в стали 35Л:

1 – АК7; 2 – АВ60; 3 – АВ50; 4 – АВ40; P_1 – остаточное содержание кислорода, ppm; P_2 – остаточное содержание алюминия, ppm