

металлизации окатышей крупностью от 16 до 25 мм. Крупность окатышей должна находиться в узком интервале 8–10 мм и 10–12,5 мм. Во время эксперимента № 116 осуществляли отток продуктов восстановления путем продува реакционного пространства азотом. Как показали результаты, в этом случае степень металлизации и прочность продукта верхнего и нижнего слоев практически не отличается, содержания остаточного углерода также очень близки.

Степень металлизации и содержание остаточного углерода. Химический анализ металлизированного продукта приведен в таблице 2. Степень металлизации и содержание остаточного углерода в готовом продукте изменяется в широком интервале. Существенная разница по этим показателям наблюдается в верхнем и нижнем слое. В экспериментах без оттока восстановительного газа даже при высокой степени восстановления содержание остаточного углерода в нижнем слое выше. Очевидно, в нижнем слое окатыши восстанавливаются газами.

Таким образом, в результате выполненных исследований установлено, что для получения металлизированного продукта с показателями качества, удовлетворяющими требованиям электросталеплавильного производства необходимо выдерживать следующие технологические рекомендации:

- железорудный концентрат с поверхностью не менее 1200 см²/г;
- восстановитель — низкотольный антрацит в количестве 15%, крупностью около 25 мкм;
- связующее — бентонит, около 1,5%;
- крупность окатышей — 10–12,5 мм;
- высокотемпературное восстановление необходимо проводить с продувом слоя азотом.

Список литературы

1. Gudenau H.W. Einfluß der Eisenmodifikation bei der direkten Stahlerzeugung — Vortrag Metallurgie und Werkstoffwissenschaften. — 22.04.1987. — TU Claustahl.
2. Stand und Entwicklung zur Direktreduktion und Schmelzreduktion von Eisenerz / Schubert K.H., Lungen H.B., Steffen R. // Stahl und Eisen, 1996. — № 8. — S. 71–79.
3. A new generation of rotary hearth furnace technology for coal based DRI production / Degel R., Fontana P., Lehmkuhler H. // Stahl und Eisen, 2000. — № 2. — S. 33–40.
4. Изменения палыгорскита при нагревании / Куковский Е.Г., Островская А.Б., Драч Г.А., Шлигун А.А. // Сб. «Конституция и свойства минералов». — К.: Наукова думка, 1967. — вып. 2. — С. 24.
5. Структура и разрушение окатышей при восстановлении / Алексеев Л.Ф., Горбачев В.А., Кудинов Д.З., Шаврин С.В. — М.: Наука, 1983. — 80 с.

© Ванюкова Н.Д., 2002

ЗБОРЩИК А.М. (ДонНТУ)

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПОРОШКОВОЙ ПРОВОЛОКИ ДЛЯ ВНЕДОМЕННОЙ ДЕСУЛЬФУРАЦИИ ЧУГУНА

Выполнен анализ удельных расходов и стоимости десульфуратора при инжестировании гранулированного магния в чугуны через фурмы с испарительными камерами и подаче магния в виде порошковой проволоки. Показано, что применяемая в настоящее время технология обработки чугуна порошковой проволокой со смесью металли-

ческого магния и ставролита не эффективна и не может быть рекомендована к широкому использованию.

В научно-технической литературе широко обсуждаются вопросы, связанные с технико-экономической эффективностью десульфурации чугуна при инжентировании гранулированного магния через фурмы с испарительными камерами и подаче магния в металл в составе порошковой проволоки [1–4]. Противоречивые выводы авторов этих исследований во многом обусловлены сопоставлением результатов, полученных в ковшах различной вместимости. Поэтому представляется целесообразным отдельно проанализировать особенности использования магниевой порошковой проволоки для обработки чугуна в 100–140-т чугуновозных ковшах и 300–350-т заливочных ковшах современных кислородно-конвертерных цехов.

В настоящей работе для оценки эффективности внепечной десульфурации чугуна с использованием различных способов подачи магния в металл проанализированы результаты исследований, выполненных в условиях мариупольских металлургических комбинатов им. Ильича и «Азовсталь». При этом учитывали, что при глубокой десульфурации чугуна магниевыми реагентами стоимость десульфуратора составляет 75–90% суммарных затрат на обработку [5, 6]. В связи с этим с достаточной точностью судить о затратах на десульфурацию чугуна при использовании различных способов ввода магния можно, сравнивая удельные расходы и стоимость десульфуратора.

В отделении десульфурации чугуна металлургического комбината «Азовсталь» обработка проводится в 140-т чугуновозных ковшах инжентированием гранулированного магния в металл в потоке природного газа, азота или воздуха через фурмы с испарительными камерами. Приведенные в научно-технической литературе сведения о удельных расходах магния в отделении десульфурации чугуна комбината «Азовсталь» резко различаются. Например, авторы работы [6] сообщают, что при понижении концентрации серы в чугуне от 0,025% до 0,007% удельный расход магния составляет 0,29 кг/т. Одновременно в работе [7] приводятся сведения, согласно которым для понижения концентрации серы от 0,013–0,027% до 0,005% необходим расход магния 0,83–1,0 кг/т. Поэтому для объективной оценки удельных расходов десульфуратора нами с использованием пакета прикладных программ «Statgraphics Plus 3.0» обработаны первичные результаты экспериментальных исследований, выполненных в отделении десульфурации чугуна металлургического комбината «Азовсталь» [8]. При проведении экспериментов магнием инжентировали в чугун в потоке природного газа, расход которого изменялся в пределах 25–40 м³/ч. Массовая скорость подачи магния изменялась в пределах 5–6 кг/мин.

Установлено, что из имеющегося набора стандартных статистических функций зависимость степени использования магния для десульфурации чугуна от концентрации серы в металле точнее других описывает функция типа «S-curve» вида:

$$\bar{\eta}_s = \exp(-0,361979 - 0,0106863/[\bar{S}]), \quad (1)$$

где $\bar{\eta}_s$ — среднее за время обработки значение степени использования магния для десульфурации чугуна; $[\bar{S}]$ — среднее за время обработки содержание серы в металле, %. Величина коэффициента корреляции составляет при этом 0,7988. Результаты расчетов по уравнению (1) показаны на рисунке сплошной линией. Пунктирной линией на этом же рисунке показаны результаты расчетов в соответствии с полученной авторами работы [9] теоретической зависимостью:

$$\bar{\eta}_s = 1 - e^{-\alpha[\bar{S}]}, \quad (2)$$

с использованием коэффициента α равного 25. Как видно из рисунка, результаты расчетов по уравнениям (1) и (2) с учетом точности определения степени использования магния для десульфурации чугуна в промышленных экспериментах практически полностью совпадают. Это позволило с использованием рекомендаций авторов работы [9] провести оценку удельных расходов активного и гранулированного магния при обработке в 140-т ковшах комбината «Азовсталь».

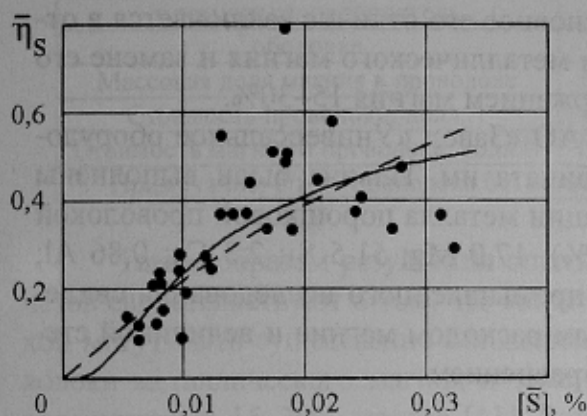


Рисунок. Зависимость степени использования магния для десульфурации чугуна от содержания серы в металле при обработке в 140-т ковшах комбината «Азовсталь»

Результаты расчетов показывают, что для понижения содержания серы в чугуне от 0,025% до 0,007% расходы активного и гранулированного магния должны составлять соответственно 0,46 кг/т и 0,51 кг/т. Эти данные хорошо согласуются с рекомендациями технологической инструкции комбината «Азовсталь» ТИ-232-166-90, согласно которым при инжестировании магния в металл в потоке природного газа для получения чугуна с содержанием серы менее 0,010% при исходном ее содержании 0,021–0,030% расход гранулированного магния должен составлять 0,55 кг/т.

На металлургическом комбинате им. Ильича для десульфурации чугуна в 140-т ковшах используется подача магния в составе порошковой проволоки [10]. Для обработки чугуна используют порошковую проволоку диаметром 10 мм, оболочка которой выполнена из стали 08Ю толщиной 0,4 мм. В одном метре порошковой проволоки содержится 35 г магния, 65 г обожженного доломита или ставролитового концентрата и 155 г стальной оболочки. Массовая доля магния в проволоке составляет 0,1372. Согласно данным работы [10] при обработке чугуна магниесодержащей порошковой проволокой для понижения концентрации серы в чугуне от 0,025% до 0,008% требуется расход магния до 0,6 кг/т.

Таким образом, эффективность использования магния для десульфурации чугуна в 140-т ковшах при инжестировании и подаче в металл в виде порошковой проволоки приблизительно одинакова. Однако затраты на десульфуратор при использовании инжестирования значительно ниже. В последние годы стоимость магния на мировом рынке колеблется в пределах 3200–4000 долл. США/т. При этом стоимость десульфуратора при обработке чугуна в отделении десульфурации комбината «Азовсталь» с расходом гранулированного магния 0,55 кг/т составляет 1,76–2,2 долл./т чугуна. На момент освоения металлургическим комбинатом им. Ильича технологии десульфурации чугуна порошковой проволокой заводская цена 1 т проволоки была равной 1590 долл., что соответствовало стоимости магния в проволоке 11588,9 долл./т. В настоящее время заводская цена 1 т проволоки уменьшилась и составляет около 1100 долл., а стоимость магния в порошковой проволоке — 8017,5 долл./т. Таким образом, стоимость десульфуратора при обработке чугуна в отделении десульфурации металлургического комбината им. Ильича с расходом магния 0,6 кг/т составляет в настоящее время 4,81 долл./т чугуна.

С учетом приведенных выше сведений о стоимости реагента использование существующей технологии десульфурации чугуна порошковой проволокой со смесью металлического магния и ставролита оправдано только в условиях периодической обработки сравнительно небольших количеств металла. Для систематической обработки больших масс чугуна экономически оправдано применение инъекционной технологии, несмотря на значительно большие капитальные вложения при строительстве отделений десульфурации [11].

Для повышения эффективности использования магния в условиях глубокой десульфурации чугуна в Донецком государственном техническом университете разработан новый тип порошковой проволоки [12,13]. Основное его отличие заключается в отказе от использования для наполнения проволоки металлического магния и замене его сплавами системы железо-кремний-магний с содержанием магния 15–30%.

Совместно со специалистами Донецкого ОАО «Завод «Универсальное оборудование» в отделении десульфурации чугуна комбината им. Ильича были выполнены опытно-промышленные исследования десульфурации металла порошковой проволокой диаметром 10 мм, содержащей сплав состава, (%): 17,0 Mg; 51,5 Si; 2,3 Ca; 0,86 Al; Fe — остальное [14]. Обработка данных опытно-промышленного исследования свидетельствует о том, что зависимость между удельным расходом магния и величиной степени десульфурации чугуна может быть описана уравнением:

$$\ln(1-\theta) = 0,1892 - 5,088q, \quad (3)$$

где θ — степень десульфурации чугуна; q — удельный расход магния, кг/т. Величина коэффициента линейной корреляции составляет при этом 0,74. Расчеты по уравнению (3) показывают, что для получения чугуна с содержанием серы менее 0,010% при исходном ее содержании 0,025% удельный расход магния должен составлять 0,25 кг/т.

В ходе проведенных исследований отмечено также, что обработка чугуна магниевой лигатурой протекает намного спокойнее. Это позволяет использовать для подачи ее в металл порошковую проволоку большего диаметра [14].

В настоящее время предприятия стран СНГ не производят сплавы системы железо-кремний-магний с содержанием магния более 10–12% в связи с отсутствием спроса на эту продукцию. По данным фирмы SKW GIESSEREI-TECHNIK (Германия) заводская стоимость железо-кремний-магниевого сплава в виде пригодного для использования в качестве наполнителя проволоки порошка крупностью 0–1,6 мм составляет 3450 марок/т при содержании магния в сплаве 17–18% и 3750 марок/т при содержании магния 24–28%. С использованием этих данных были проведены оценочные расчеты стоимости порошковой проволоки диаметром 10 мм, а также порошковой проволоки диаметром 13 мм с компенсатором и без компенсатора. После этого были выполнены расчеты стоимости 1 т магния в проволоках различных типов. При расчете стоимости проволоки, содержащей сплав с 17% магния, использованы данные о массе наполнителя и стальной оболочки на 1 м проволоки, полученные при изготовлении опытно-промышленных образцов. Расчет стоимости проволоки, содержащей сплав с 26% магния, выполнен с использованием допущения, согласно которому при изменении состава сплава характеристики порошковой проволоки существенно не изменятся. В расчетах были использованы курсы валют, установленные Национальным банком Украины в мае 2001 г. Результаты расчетов представлены в таблице 1.

Анализ данных таблицы 1 показывает, что, несмотря на более высокую стоимость порошковой проволоки с магниевыми лигатурами, затраты на десульфуратор при ее использовании существенно понижаются. Так при обработке чугуна лигатурой с 17% магния в проволоках диаметром 10 мм, а также 13 мм с компенсатором и без него

затраты на десульфуратор составляют соответственно 4,02, 3,62 и 3,45 долл./т. Если предполагать, что при применении лигатуры с 26% магния эффективность его использования для десульфурации чугуна останется неизменной, затраты на десульфуратор будут составлять соответственно 2,76, 2,50 и 2,39 долл./т чугуна.

Таблица 1. Расчет стоимости магния в порошковой проволоке различных типов

| Наименование показателей | Сплав Fe – Si – 17% Mg | | | Сплав Fe – Si – 26% Mg | | |
|---|------------------------|---------|---------|------------------------|--------|--------|
| | 10 | 13 | 13 б/к | 10 | 13 | 13 б/к |
| Диаметр проволоки, мм | 10 | 13 | 13 б/к | 10 | 13 | 13 б/к |
| Масса 1 м проволоки, кг | 0,28 | 0,40 | 0,42 | 0,28 | 0,40 | 0,42 |
| в том числе: наполнитель | 0,125 | 0,22 | 0,255 | 0,125 | 0,22 | 0,255 |
| оболочка | 0,155 | 0,18 | 0,165 | 0,155 | 0,18 | 0,165 |
| Массовая доля магния в проволоке | 0,0759 | 0,0935 | 0,1032 | 0,1161 | 0,1430 | 0,1579 |
| Стоимость проволоки, долл./т | 1220,1 | 1352,4 | 1425,3 | 1281,3 | 1427,8 | 1508,6 |
| Стоимость магния в проволоке, долл./т | 16075,1 | 14464,2 | 13811,0 | 11036,2 | 9984,6 | 9554,2 |
| Примечание: б/к — проволока без компенсатора; остальное — проволока с компенсатором | | | | | | |

Таким образом результаты опытно-промышленного опробования и оценочных расчетов свидетельствуют о том, что затраты на десульфурацию чугуна порошковой проволокой могут быть существенно понижены при отказе от использования в наполнителе проволоки металлического магния и замене его сплавами системы железо-кремний-магний, содержащими 15–30% магния [11]. Результатом дальнейшей работы по оптимизации состава десульфуратора и режима обработки может стать создание технологии, которая при десульфурации чугуна в 100–140-т ковшах сможет конкурировать с инжестированием гранулированного магния через фурмы с испарительными камерами.

Объективное сравнение эффективности десульфурации металла в заливочных ковшах затруднено тем, что широко опубликованные сведения об исключительно высокой эффективности обработки чугуна в 300-т ковшах металлургического комбината «Азовсталь» нельзя считать достоверными. В качестве примера проанализируем данные, согласно которым при инжестировании гранулированного магния в заливочные ковши в количестве 0,2 кг/т чугуна содержание серы в металле понижается с 0,025% до 0,007% [1–3].

Согласно ТУ 48-10-54–78 с изменением №5 от 01.08.1991 г. содержание активного магния в гранулированном магнии марок МГП-2 – МГП-4 составляет 90–93%. Поэтому в проведенных исследованиях удельный расход активного магния мог составлять 0,18–0,186 кг/т.

Введенный в чугун магний расходуется на взаимодействие с кислородом и серой чугуна, а также на растворение в обрабатываемом металле. В работе [5] показано, что при температурах 1260–1500°C соотношение между остаточными концентрациями магния и серы в чугуне описывается уравнением

$$[\%Mg][\%S] = 1,4 \cdot 10^{-4} - 0,86(1400 - t) \cdot 10^{-6}, \quad (4)$$

где t — температура чугуна, °C. Расчеты по уравнению (4) показывают, что при температуре чугуна в заливочных ковшах 1300°C произведение остаточных концентраций магния и серы составляет $5,4 \cdot 10^{-5}$. При содержании серы в чугуне 0,007% концентрация растворенного в металле магния должна составлять 0,0077%. В этих условиях, даже если не принимать во внимание неизбежные потери части магния при взаимодействии с кислородом чугуна, рассчитанная согласно рекомендациям работы [5] величина коэффициента усвоения магния будет составлять 115–119%.

Вместе с тем нельзя не согласиться, что при обработке чугуна в заливочных ковшах инжестированием гранулированного магния через фурмы с испарительными

камерами удельные расходы десульфуратора могут быть существенно ниже, чем при подаче магния в виде порошковой проволоки. Широко известно, что на эффективность использования магния для десульфурации чугуна решающее влияние оказывает глубина ввода десульфуратора в расплав [5]. При переходе от обработки металла в чугуновозных ковшах к обработке в заливочных ковшах глубина ввода магния в расплав увеличивается от 2,0–2,5 м до 3,2–3,7 м [1, 3]. В сочетании с более низкой температурой металла в заливочных ковшах это создает реальные предпосылки для значительного повышения эффективности использования магния для десульфурации чугуна.

Результаты математического моделирования прогрева порошковой проволоки в металле показывают, что продолжительность нагрева оболочки проволоки до температуры обрабатываемого чугуна не превышает 0,5 с [15]. После этого проволока теряет жесткость и деформируется под воздействием выталкивающей силы и циркуляционных потоков металла. В результате траектория движения проволоки меняется и есть основания полагать, что она не проникает в донную часть большегрузных заливочных ковшей. Для оценки глубины проникновения порошковой проволоки в металл нами была использована математическая модель процесса десульфурации чугуна, описанная в работе [9]. Обработка приведенных в работе [16] сведений о эффективности десульфурации чугуна в заливочных ковшах показывает, что при скорости подачи проволоки 3–3,5 м/с расчетная глубина проникновения ее в расплав не превышает 1,5–2,0 м. По этой причине можно предполагать, что при обработке чугуна в крупных заливочных ковшах подача магния в виде порошковой проволоки не может конкурировать с инъекционной технологией.

Подтверждением этому выводу могут служить данные таблицы 2, в которой обобщены сведения о результатах десульфурации чугуна магнийсодержащей порошковой проволокой в 300–350-т заливочных ковшах Магнитогорского металлургического комбината, комбинатов «Северсталь» и «Азовсталь» [17,18]. В числителе приведены предельные, а в знаменателе — средние значения величин. В этой же таблице показаны значения коэффициента α , полученные путем обработки усредненных данных о содержании серы в чугуне до и после обработки и удельном расходе магния согласно уравнению (2). Сравнивая их, легко видеть, что эффективность десульфурации чугуна порошковой проволокой в заливочных ковшах даже несколько ниже той, которая достигнута в чугуновозных ковшах комбината «Азовсталь».

Таблица 2. Результаты десульфурации чугуна порошковой проволокой в 300–350-т ковшах [17, 18]

| Предприятие | Расход магния, кг/т | Содержание серы, % | | Степень десульфурации, % | Значение коэффициента α в уравнении (2) |
|------------------|----------------------------|-------------------------------|-------------------------------|--------------------------|--|
| | | Начальное | Конечное | | |
| ОАО ММК | $\frac{0,58 - 0,64}{0,61}$ | $\frac{0,022 - 0,032}{0,028}$ | $\frac{0,007 - 0,018}{0,012}$ | $\frac{40 - 68}{57}$ | 11,8 |
| ОАО «Северсталь» | $\frac{0,67 - 1,03}{0,86}$ | $\frac{0,016 - 0,027}{0,021}$ | $\frac{0,005 - 0,017}{0,009}$ | $\frac{40 - 71}{60}$ | 7,9 |
| ОАО «Азовсталь» | $\frac{0,1 - 0,46}{0,34}$ | $\frac{0,009 - 0,021}{0,014}$ | $\frac{0,006 - 0,018}{0,009}$ | $\frac{33 - 71}{36}$ | 10,5 |

Поэтому при обработке чугуна в большегрузных заливочных ковшах современных кислородно-конвертерных цехов предпочтение следует отдавать технологии, основанной на инжестировании гранулированного магния через фурмы с испарительными камерами. Правда, при этом нельзя забывать о значительных трудностях, которые мо-

гут возникнуть при размещении необходимого для ее реализации оборудования в существующих миксерных отделениях.

Таким образом, достигнутые в настоящее время результаты десульфурации чугуна с использованием магниевой порошковой проволоки не позволяют рекомендовать эту технологию к широкому использованию для систематической обработки больших масс металла. Продолжение исследований в направлении оптимизации состава порошковой проволоки с наполнителем из сплавов системы железа-кремний-магний и режима подачи ее в металл открывает перспективы разработки технологии, которая при десульфурации чугуна в 100–140-т ковшах сможет конкурировать с инжестированием магния в металл. Однако этот вывод нуждается в промышленной проверке.

Список литературы

1. **Сопоставление** эффективности способов десульфурации чугуна / А.Ф. Шевченко, Б.В. Двоскин, А.С. Вергун и др // *Сталь*, 2000. — № 8. — С. 14–17.
2. **Создание** современных процессов внепечной десульфурации чугуна магнием / А.Ф. Шевченко, В.И. Большаков, Б.В. Двоскин и др. // *Металлургическая и горнорудная промышленность*, 2000. — № 1. — С. 20–22.
3. **Выбор** рациональной технологии внепечной десульфурации чугуна в условиях современного металлургического производства / А.Ф. Шевченко, Б.В. Двоскин, Л.В. Быков и др. // *Металлургическая и горнорудная промышленность*, 1999. — № 5. — С. 23–27.
4. **Дюдкин Д.А., Гринберг С.Е., Маринцев С.Н.** К вопросу о рациональной технологии внепечной десульфурации чугуна // *Металлургическая и горнорудная промышленность*, 2000. — № 3. — С. 9–11.
5. **Воронова Н.А.** Десульфурация чугуна магнием. — М.: Металлургия, 1980. — 240 с.
6. **Носоченко О.В., Зотов А.В., Галиев Е.Е.** Десульфурация передельного чугуна магнием по принципу моноинжекции через специальные фурмы // *Сталь*, 1999. — № 12. — С. 19–21.
7. **Комплексная** внедоменная десульфурация и деазотация чугуна / А.С. Вергун, Б.В. Двоскин, А.Ф. Шевченко и др. // Труды пятого конгресса сталеплавильщиков (г. Рыбница, 14–17 октября 1998 г.). — М.: ОАО «Черметинформация», 1999. — С. 383–386.
8. **Исследование** и совершенствование технологии внепечной десульфурации чугуна магнием с корректировкой состава шлакового покрытия и газовой атмосферы: Отчет о НИР (заключительный) / Институт черной металлургии МЧМ СССР. — ВО-40-85, № ГР 01850028731. — Днепропетровск, 1986. — 74 с.
9. **Мачикин В.И., Зборщик А.М.** Математическое описание процессов десульфурации чугуна и стали щелочно-земельными металлами // *Изв. вуз. Черная металлургия*, 1982. — № 1. — С. 34–38.
10. **Десульфурация** чугуна порошковой магниесодержащей проволокой / Д.А. Дюдкин, Ю.И. Бать, В.П. Онищук и др. // *Металл и литье Украины*, 1998. — № 1–2. — С. 19–21.
11. **Зборщик А.М.** Экономическая эффективность различных способов внедоменной десульфурации чугуна // *Металл и литье Украины*, 2001. — № 3–4. — С. 11–12.
12. **Зборщик А.М., Кисленко В.В., Маринцев С.Н.** Исследование механизма реакций десульфурации чугуна кремний-магниевой лигатурой // *Сталь*, 1998. — № 9. — С. 13–16.
13. **Зборщик А.М., Кисленко В.В., Маринцев С.Н.** Порошковая проволока для глубокой десульфурации чугуна магниевыми реагентами // *Черная металлургия. Бюллетень научно-технической информации*, 2000. — №3–4 (1203–1204). — С. 36–38.
14. **Преимущества** десульфурации чугуна лигатурами системы Fe – Si – Mg / Д.А. Дюдкин, А.М.Зборщик, В.П. Онищук и др. // *Сталь*, 1999. — № 4. — С. 26–28.
15. **Особенности** внепечной десульфурации чугуна порошковыми проволоками / Д.А. Дюдкин, В.В. Кисленко, В.П. Онищук и др. // *Металлург*, 2000. — № 11. — С. 40–42.
16. **Десульфурация** чугуна порошковой проволокой с магниесодержащим наполнителем / Д.А. Дюдкин, В.П. Онищук, С.Е. Гринберг и др. // *Металл и литье Украины*, 2000. — № 1–2. — С. 11–12.
17. **Опыт** обработки металлических расплавов порошковыми проволоками на металлургических предприятиях СНГ / Ю.И. Бать, Д.А. Дюдкин, В.М. Титиевский и др. // Труды четвертого конгресса сталеплавильщиков, Москва 7–10 октября 1996. — М.: ОАО «Черметинформация», 1997. — С. 281–284.
18. **Порошковая** проволока для внепечной обработки стали и чугуна / А.Ф. Каблуковский, С.И. Ябуров, А.Н. Никулин и др. // Труды пятого конгресса сталеплавильщиков (г. Рыбница, 14–17 октября 1998 г.). — М.: ОАО «Черметинформация», 1999. — С. 350–353.

© Зборщик А.М., 2002