

УДК 669.187

Лубяной Дмитрий Анатольевич, в.н.с, доцент, к.т.н.

(Филиал КузГТУ в г. Новокузнецке)

Колосницын Анатолий Васильевич, нач. участка

(ООО «Кузнецкое литье», Новокузнецк)

Маркидонов Артем Владимирович, зав. каф., доцент, д.ф.-м.н.
(Филиал КузГТУ в г. Новокузнецке; СибГИУ, Новокузнецк)

Забнева Эльвира Ивановна, к.соц.н., доцент, директор
(Филиал КузГТУ в г. Новокузнецке)

Зварыч Евгений Богданович, зав. каф., доцент, к.т.н.
(Филиал КузГТУ в г. Новокузнецке)

Часовников Сергей Николаевич, доцент, к.э.н.
(Филиал КузГТУ в г. Новокузнецке)

Шевченко Светлана Юрьевна, доцент, к.т.н.
(МГТУ им. Н.Э. Баумана)

Dmitriy A. Lubyanoi, Leading Researcher, Assoc.Prof., Cand.Sci.
(Branch of KuzSTU in Novokuznetsk)

Anatoly V. Kolosnitsyn, section foremaster
(ООО "Kuznetsk casting", Novokuznetsk)

Artem V. Markidonov, Head of Department, Assoc.Prof., Dr.Sci.
(Branch of KuzSTU in Novokuznetsk; SibSIU, Novokuznetsk)

Elvira I.Zabneva, , Assoc.Prof., Cand .Sci , Director
(Branch of KuzSTU in Novokuznetsk)

Evgeniy B. Zvarich, Head of Department Assoc.Prof., Cand .Sci.
(Branch of KuzSTU in Novokuznetsk)

Sergey N. Chasovnikov Assoc.Prof., Cand .Sci.
(Branch of KuzSTU in Novokuznetsk)

Svetlana Y. Shevchenko Assoc.Prof., Cand .Sci.
(MGTU im. N. Uh. Bauman)

**НАУЧНЫЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ
РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЙ ПЕРЕРАБОТКИ
РАЗЛИЧНЫХ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ОТХОДОВ В
ИНДУКЦИОННЫХ ПЕЧАХ С ДАЛЬНЕЙШЕЙ ВНЕПЕЧНОЙ
ОБРАБОТКОЙ**

**SCIENTIFIC AND TECHNOLOGICAL BASES OF RESOURCE
SAVING TECHNOLOGIES OF RECYCLING OF VARIOUS
METALLURGICAL WASTES IN INDUCTION FURNACES WITH
SUBSEQUENT LADLE TREATMENT**

В настоящее время актуальна переработка metallurgических отходов (корольков чугуна и стали шлаковых отвалов, лома поддонов и изложниц, и т.д.). Для данных типов отходов характерно повышенное содержание

серы, фосфора, нестабильная структура изделий из чугуна, полученного из разнородной шихты, повышенное газосодержание металла, полученного из недостаточно просушенной шихты. Разработаны основы технологий для переработки этих отходов в изделия из чугуна.

Currently, the processing of metallurgical waste(magnetized pig iron and steel slag dumps, recycling of scrap pallets and molds, etc.) is relevant. These types of waste are characterized by high content of sulfur, phosphorus, unstable structure of cast iron products obtained from heterogeneous charge, increased gas content of metal obtained from insufficiently dried charge. The basis of technologies for processing these wastes into iron products has been developed.

В настоящее время актуальна переработка металлургических отходов (корольков чугуна и стали шлаковых отвалов (рис.1), лома поддонов и изложниц, и т.д.). Для данных типов отходов характерно повышенное содержание серы, фосфора, нестабильная структура изделий из чугуна, полученного из разнородной шихты, повышенное газосодержание металла, полученного из недостаточно просушенной шихты.



Рисунок № 1 Скрапины от переработки шлака

Для получения продукции высокого качества необходимо решить следующие задачи:

1. Отработка комплекса технологий позволяющих перерабатывать разнородную металлошахту, оценка влияния компонентов шихты на технико-экономические показатели плавки чугуна.

2. Разработка способа снижения содержания серы в кислых индукционных электропечах и реализация данных технологических приемов в промышленных печах.

3. Разработка технологических приемов увеличения, уменьшения содержания фосфора в чугуне, отработка способа нейтрализации вредного влияния фосфора в сером чугуне.

4. Стабилизация структуры и свойств чугуна индукционной плавки оптимальными режимами термовременной обработки расплава.

5. Стабилизация газосодержания металла перед заливкой изделий.

Вышеперечисленные задачи решались параллельно-последовательно. Первоначально отрабатывалась технология переработки лома в кислых индукционных печах с режимами термовременной обработки. Была отработана технология выплавки полусинтетического чугуна, включающая переработку как чугунного, так и стального лома. Влияние состава шихтовых материалов на технико-экономические показатели процесса плавки обобщены в работе [1]. Данная технология отличалась получением отливок со стабильной микроструктурой и механическими свойствами чугуна и эксплуатационными показателями изделий из данного чугуна[2]. Столь высокие показатели изделий обусловлены главным образом применением в этой технологии режимов термовременной обработки расплава (ТВО). Методики определения оптимальных температурных режимов базировались на подходах школы Баума Б.А. [3]. Внедрение данных режимов позволило значительно повысить качество и эксплуатационную стойкость изделий.

Повышение свойств изделий за счет ТВО позволило значительно снизить количество легирующих добавок и перейти на производство изделий из экономнолегированного чугуна, снизив расход ферросилиция с 25,6 кг до 12,9 кг, а ферросиликомарганца с 7,4 кг до 4,27 кг на тонну чугуна на производство продукции[4]. В последнее время актуальным становится получение отливок из высокопрочного чугуна. С известными событиями на Украине поставки низкосернистого чугуна в Россию проблематичны. В г. Новокузнецке разработаны[5,6] и внедрены в производство экстракционные технологии получения низкосернистого чугуна в кислых индукционных электропечах. Данные технологии освоены и внедрены на ИЧТ-10 и ИСТ-1, в индукционной печи средней частоты MFTGe6.000.

Эти технологии позволяют снизить содержание серы с исходных 0,070...0,085%, получаемых, например при переплаве корольков и скрапин, отмагниченных из шлака до уровня 0,015...0,036% (рис. 2), что вполне приемлемого при внедрения лигатур при получении высокопрочного чугуна. Данные технологии успешно внедрены при производстве термостойких отливок (шлаковни для шлака и изложницы для разливки алюминия) на ООО «Кузнецкое литье», поставляемых на ОАО «РУСАЛ Новокузнецк». Требуемое содержание фосфора в полуфабрикате для



Рисунок № 2 Заливка чушек низкосернистого чугуна

получения высокопрочного чугуна достигается низкофосфористым стальным ломом. Термостойкость отливок из фосфористого чугуна достигается образованием термостойких фосфидов титана и ванадия [7,8,9], при этом титан и ванадий попадает в чугун из ванадийсодержащих руд. При этой обработке установлено, что эксплуатационная стойкость изделий не только не снижается, а даже увеличивается. На качество изделий и плотность отливок оказывается и газосодержание. Задача снижения газосодержания в чугуне при производстве чугуна из отходов решается с применением методов термовременной и внепечной обработок чугуна. Для эффективного модифицирования чугуна применяются нанопорошки [10]. Технология изготовления этих порошков очень сложна и энергоемка, требует наличия планетарных мельниц. Однако образование подложек для модифицирования можно произвести и другими методами, в частности за счет образования нитридов титана, образующимися при продувке чугуна азотом, впервые рассмотренными в работе [2]. Было установлено, что при длительной продувке в расплаве методом резонансно-пульсирующего рафинирования генерируются в достаточном количестве неметаллические включения - нитриды и карбонитриды титана. Они служат подложками для образования графита (рис.3).

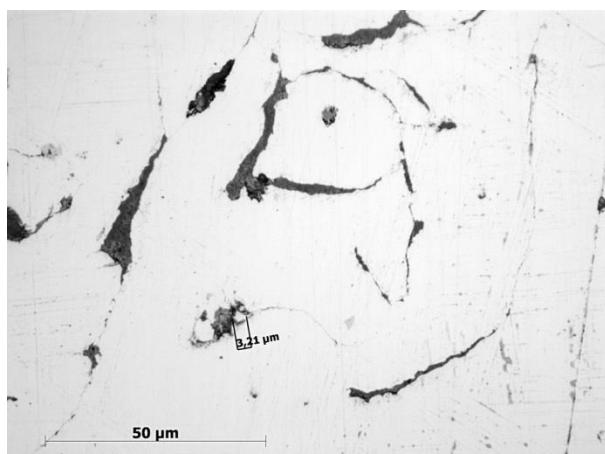


Рисунок № 3 Подложка карбонитридов инициирует образование графита

Оценочные измерения показали, что размер включений составляет 200...400 нм. Для равномерного распределения частиц в объеме ковша в цехе изложниц обработку чугуна азотом совмещают с низко- и высокочастотной обработкой расплава специальными формами (рис. 4).

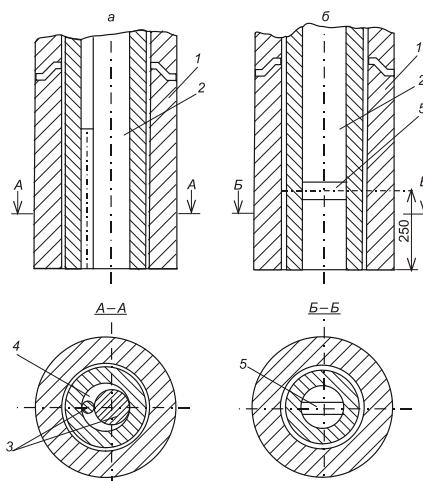


Рисунок №4 Схема форм с серповидным соплом (a) и соплом с цилиндрическим пульсатором (b) 1 – огнеупорная труба; 2 – стальная труба для подачи газа; 3 – фирменный наконечник со стержнем; 4 – серповидная щель; 5 – цилиндрический пульсатор

Как свидетельствуют результаты экспериментов, чем больше удаляется титана в процессе продувки, тем больше образуется неметаллических включений и тем равномернее (при прочих равных условиях) распределение графита и основы в структуре чугуна. Продувка чугуна азотом в заданных режимах, как показали исследования, значительно измельчает размер нитридов титана, ведет к уменьшению их размера, более равномерно распределяет их в объеме основы и в фосфидной эвтектике. Оценка микроструктуры показала, что после продувки чугуна техническим азотом, при которой удаляется

порядка 0,03...0,06 % титана, образуется значительное количество нитридов и карбонитридов титана, которое обеспечивает равномерное распределение графита в структуре чугуна. При недостаточном количестве подложек для образования (при продувке недостаточной продолжительности) образуются крупные графитовые включения, нитриды распределены менее равномерно, как в основе, так и в фосфидной эвтектике, что способствуют образованию крупных трещин и разрушению изложниц и шлаковых чащ. Наличие достаточного количества подложек для образования графита обеспечивает получение благоприятной микроструктуры чугуна с равномерно распределенным графитом среднего размера и матрицы без дендритной структуры. Таким образом, образование большого количества неметаллических включений при продувке, как было отмечено и ранее [11] благоприятно сказывается на микроструктуре чугуна и на эксплуатационной стойкости изложниц и шлаковых чащ[12-15]. Измерения показали, что содержание азота после продувки находится на уровне превышающем 0,002...0,003 % и свидетельствует о том, что нитриды будут образовываться. Подтверждением данных является тот факт, что содержание титана, с одной стороны, при продувке постоянно снижается и, образующиеся нитриды удаляются в шлак, а с другой стороны часть нитридов, которые не успели всплыть в шлак, остаются в чугуне, скапливаются в фосфидной эвтектике и основе чугуна, что и подтверждается металлографическими исследованиями.

Выводы: данные технологии обеспечивают получение из отходов чугунных изделий высокого качества.

Список литературы

1. Повышение стойкости поддонов из чугуна индукционной плавки / Кустов Б. А., Чичков В. И., Лубяной Д. А. [и др.]. // Сталь. – 1989. – №6. – С. 28-30.
2. Повышение эффективности производства сталеразливочного оборудования из чугуна / Лубяной Д. А., Дробышев А. Н., Самсонов Ю. Н. [и др.]. // Сталь. – 1994. – №6. – С. 40-41.
3. Термовременная обработка расплава чугуна / Цепелев В. С., Селянин И. Ф., Лубяной Д. А., Баум Б. А. [и др.]. // Сталь. – 1995. – №5. – С. 42-45.
4. Разработка и внедрение экономнолегированных чугунов доменной и индукционной плавки для термостойких отливок / Лубяной Д. А., Требинская В. В., Лубяная С. В., Чинокалов В. Я., [и др.]. // Бюллетень научно-технической и экономической информации. - 2014г. - № 6- С.59-63.
5. Лубяной Д. А. Анализ механизма и кинетики десульфурации чугуна в кислых индукционных печах промышленной и средней частоты / Лубяной Д. А. // Литейщик России. – 2006. – № 12. – С. 22-25.
6. Лубяной Д. А. Анализ металлургических возможностей индукционных печей промышленной и средней частоты / Лубяной Д. А.,

Лубяная С.В. Проблемы черной металлургии и материаловедения// – 2013. – № 4. – С. 36-39.

7. Технология нейтрализации вредного влияния фосфора в чугуне термостойких отливок / Лубяной Д. А., Софрошенков А. Ф., Синявский И. А. [и др.]. // Изв. вузов. Черная металлургия. – 1999. – № 10. – С. 47-50.

8. Механизм нейтрализации вредного влияния фосфора в термостойких чугунных отливках / Лубяной Д. А., Софрошенков А. Ф., Синявский И. А. др. // Изв. вузов. Черная металлургия. – 2000. – №12. – С. 29-31.

9. Фосфористые чугуны для термостойких отливок / Лубяной Д.А., Горкавенко В.В., Макаров Э.С. [и др.]. // Металловедение и термическая обработка металлов. – 2002. – № 10. – С. 37-38.

8. Совершенствование технологии производства термостойких чугунных отливок / Лубяной Д. А., Попов А. А., Макаров Э. С. [и др.].// Сталь. – 2004. – №5. – С. 30-32.

9. Разработка химического состава экономно легированного чугуна / Лубяной Д. А., Чичков В. И., Самсонов Ю. Н. [и др.]. // Литейщик России . – 2004. – № 7.– С. 19-20.

10. Упрочнение металлических, полимерных и эластомерных материалов ультрадисперсными порошками плазмохимического синтеза/ Жуков М.Ф., Черский И.Н., Черепанов А.Н. и др. - Новосибирск: Наука.Сибирская издательская фирма РАН, 1999. – 312 с.

11. Тен Э.Б., Воробьев А.П. Влияние продувки азотом на первичную кристаллизацию чугуна // Изв. вузов. Черная металлургия. –1994. –№ 7. – С. 54-58.

12. Леви Л.И. Азот в чугуне для отливок. М.: Машиностроение, 1964. -227 с.

13. Влияние внепечной обработки на микроструктуру и свойства доменного чугуна, применяемого для литья изложниц и шлаковых чащ / Лубяной Д. А., Требинская В. В., Чубейко В. Л. [и др.]. // Литейщик России. – 2006.– № 6. – С. 25-29.

14. Софрошенков, А. Ф. Внедрение ресурсосберегающих технологий производства термостойкого чугуна / Софрошенков А. Ф., Лубяной Д. А., Синявский И. А. // Изв. вузов. Черная металлургия. – 2005. – № 6. – С. 45-47.

15. Лубяной, Д. А. Влияние технологии выплавки и внепечной обработки чугуна на эксплуатационную стойкость изложниц для кузнецких слитков / Лубяной Д. А., Требинская В. В., Андреев В. В. // Заготовительные производства в машиностроении. – 2005. – № 8. – С. 3-5.