

3. **Переплав** алюминиевых шлаков в дуговой печи / В.Г. Радченко [и др.] // *Металлургия машиностроения*. – 2004. – № 1. – С. 19–20.

4. **Переработка** упорного вторичного алюминиевого и медного сырья во вращающихся печах / В.И. Гель [и др.] // *Цветные металлы*. – 2006. – № 3. – С. 56–59.

УДК 669.714

А.Г. СЛУЦКИЙ, канд. техн. наук,
Г.В. ДОВНАР, канд. техн. наук (БНТУ),
Р.Э. ТРУБИЦКИЙ (ОАО «ЛЛМЗ»),
В.А. СМЕТКИН, канд. пед. наук,
А.А. АНДРИЦ, канд. техн. наук,
А.В. БОРОДИЧ (БНТУ)

ВЛИЯНИЕ СПОСОБА ЛЕГИРОВАНИЯ ЧУГУНА МЕДЬЮ НА ЕГО СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА

Легирование является одним из методов управления процессами формирования структуры и свойств отливок из чугуна. К легированию прибегают для измельчения первичных структурных образований и получения однородной микроструктуры продуктов распада переохлажденного аустенита в различных сечениях отливки.

В практике литейного производства в качестве легирующих элементов используют чистые металлы, ферросплавы и лигатуры, природнолегируемые материалы, а также отходы смежных производств. Многие вторичные материалы (шлаки, изгарь, гальванические шламы, отработанные катализаторы) наряду с базовым элементом (медь, никель, хром) содержат целый ряд примесей. Применение в составе шихты таких отходов позволяет осуществлять экономное легирование сплавов. При этом недостаточно изученным остается вопрос влияния примесей, вносимых этими материалами, на свойства отливок.

При исследовании процесса легирования чугунов влияние элементов необходимо рассматривать применительно к их графитизирующему или «отбеливающему» действию на формирование струк-

туры сплава в процессе его кристаллизации. В практике производства чугунного литья в качестве легирующих элементов используются хром, никель, титан, ванадий, молибден, медь, кремний, алюминий.

За последние годы все большее распространение в отечественном и зарубежном литейном производстве получает использование меди в качестве легирующей добавки к чугуну. Пределы содержания меди в конструкционных чугунах обычно не выходят за рамки 2 %. В таких количествах медь оказывает благоприятное влияние на перлитизацию металлической основы чугуна, что приводит к повышению его прочностных характеристик. Например, в гильзовом чугуне наряду с хромом, никелем, ванадием, бором, титаном, фосфором содержится 0,4–0,6 % меди.

Легиrowание железуглеродистых сплавов можно осуществлять за счет:

- введения в расплав либо в ковш чистых элементов (никель, олово, медь и т. д.);
- введения в расплав либо в ковш ферросплавов (феррохром, ферротитан, ферромolibден и т. д.);
- использования в составе металлошихты природнолегиrowанных материалов (доменные, титано-медистые чугуны и т. д.);
- легиrowания отходами через шлаковую фазу (медьсодержащий шлак, оловянно-свинцовая изгарь и т. д.).

На кафедре «Металлургия литейных сплавов» БНТУ проведены исследования по разработке процессов экономного легиrowания черных и цветных сплавов с использованием отходов [1–4].

Многие вторичные материалы (шлаки, изгарь, гальванические шламы, отработанные катализаторы) наряду с базовым элементом (медь, никель, хром) содержат целый ряд примесей. При этом, как было отмечено выше, актуальным остается вопрос влияния этих примесей на микроструктуру и свойства легиrowанного сплава.

Целью настоящего исследования является анализ влияния способа легиrowания чугуна медью на его микроструктуру и свойства.

Для этого была проведена серия опытных плавок серого чугуна в индукционной печи с кислой футеровкой ИСТ-006. В качестве шихтового материала использовали нелегиrowанный лом чугуна и лом стали в соотношении 90 % и 10 %. Легиrowание осуществлялось как чистой медью, так и в виде медьсодержащего шлака, кото-

рые вводились в твердую металлозавалку в различных количествах. После полного расплавления шихты и перегрева чугуна заливались пробы для исследования химического состава, технологических свойств (отбела), микроструктуры и твердости полученного сплава.

Установлено (рисунок 1), что по мере увеличения добавки в чугун как чистой меди, так и медьсодержащего шлака, величина отбела изменяется незначительно. Так, если в исходном сплаве величина отбела составляла 2,5 мм, при легировании медью и шлаком этот показатель увеличился до 4 мм.

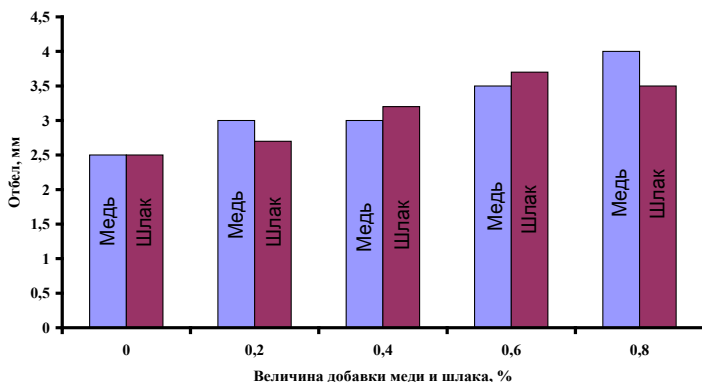


Рисунок 1 – Влияние способа легирования медью на величину отбела чугуна

При использовании медьсодержащего шлака твердость полученного чугуна несколько выше, чем при легировании чистой медью (рисунок 2). Это связано, по-видимому, с наличием в медьсодержащем шлаке примесей олова, цинка, свинца и других элементов.

Результаты металлографического анализа показали, что добавки меди не оказали существенного влияния на форму и распределение графитных включений. Анализ металлической основы показал, что как и в исходном чугуне, так и в легированном присутствует 100 % перлита с дисперсностью Пд0,5. Наличие в исходном чугуне 0,14 % фосфора обеспечило формирование в структуре фосфидной эвтектики с распределением от ФЭр1 до ФЭр2 и количеством ФЭЗ.

На втором этапе проводились исследования по легированию чугуна медьсодержащими отходами в виде шлака, полученного при выплавке оловянно-свинцовой бронзы. Состав медьсодержащего шлака: Cu – 35 %; CuO – 15 % (11,5 % меди); SiO₂ – 11 %; ZnO –

9 % (7,2 % цинка); PbO – 7 % (6,5 % Pb); FeO – 5 %; SnO – остальное (7 % Sn).

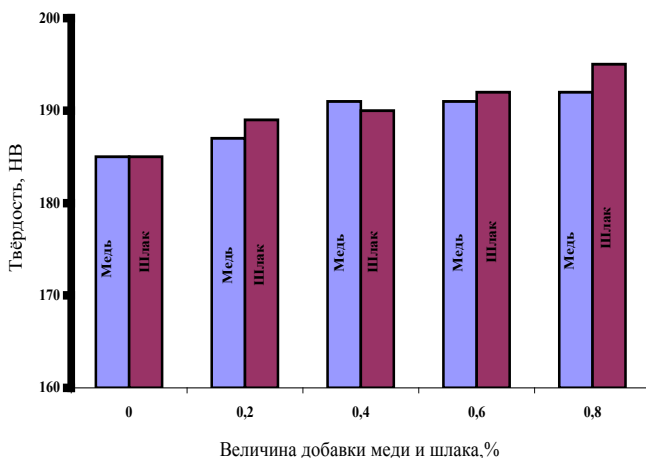


Рисунок 2 – Влияние добавки чистой меди и медьсодержащего шлака на твердость чугуна

Анализ состава медьсодержащего шлака показывает, что он наряду с медью содержит в небольших количествах такие элементы, как олово, цинк и свинец. На рисунке 3 представлено влияние различных по величине добавок медьсодержащего шлака на уровень легирования серого чугуна.

Учитывая, что в шлаке содержится около 50 % меди, для получения нужной концентрации его вводили в 2 раза больше, чем меди. Химический анализ полученных образцов показал, что использование в составе шихты медьсодержащего шлака позволяет эффективно легировать чугун медью. В зависимости от величины добавки содержание в сплаве меди изменялось от 0,15 до 1,2 %, при этом степень усвоения данного легирующего элемента была достаточно высокой и составляла около 90 %.

Наличие в шлаке небольшого количества олова, свинца и цинка также оказало влияние на химический состав выплавляемого чугуна: максимальный уровень микролегирования (при условии 100%-го усвоения по этим элементами при добавках 2 % медьсо-

держашего шлака) составил по свинцу – 0,13 %, по олову – 0,35 %, по цинку – 0,14 %.

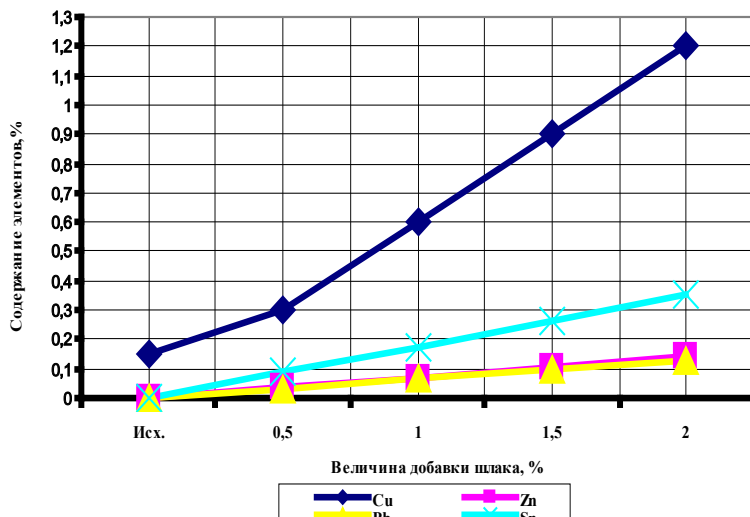


Рисунок 3 – Влияние добавок шлака на содержание меди и остальных примесей в чугуна

С использованием сканирующего электронного микроскопа высокого разрешения (при увеличении $\times 100000$) выявлены некоторые особенности в структурах исследуемых чугунов (таблица 1).

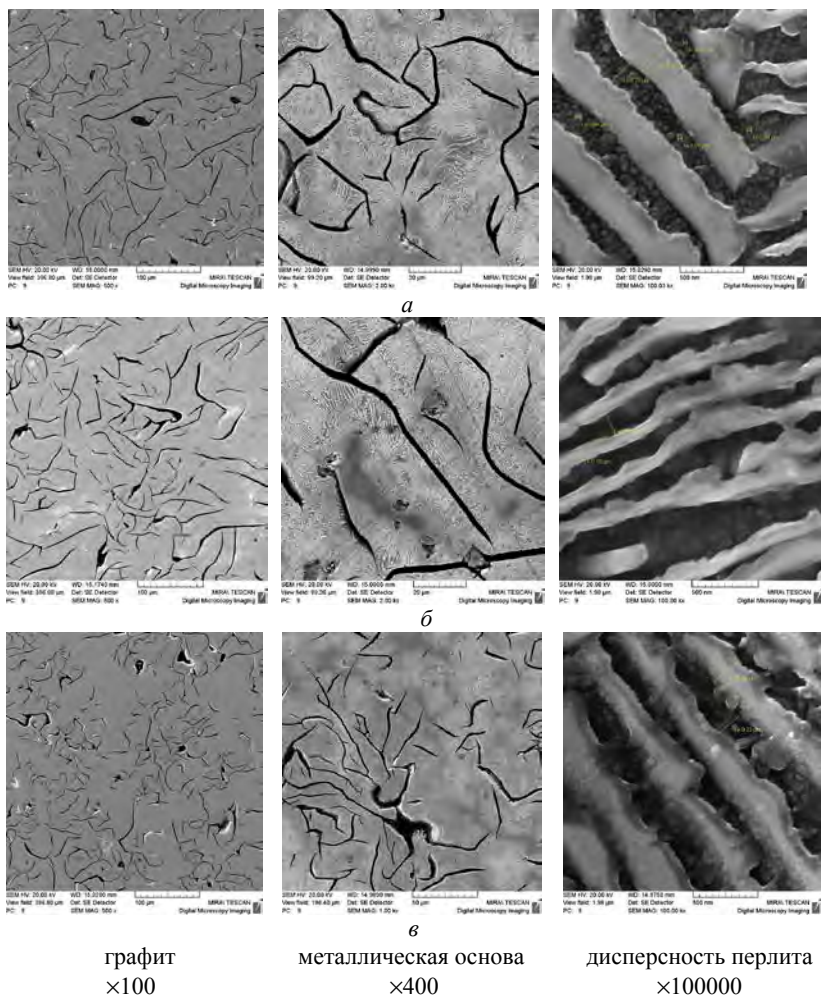
Исследования структуры показали, что все три образца имеют структуру серого чугуна с пластинчатым графитом. Легирование чугуна чистой медью и отходами в виде медьсодержащего шлака не оказывает влияния на характер распределения графита.

При легировании серого чугуна медью происходит измельчение зеренной структуры ферритной матрицы, а также заметное уменьшение не только расстояния между пластинами цементита перлита, но и толщины самих цементитных пластин. Использование как чистой меди, так и медьсодержащих отходов одинаково влияет на процессы формирования металлической основы в структуре серого чугуна. Измельчение зеренной структуры ферритной матрицы позволит улучшить механические свойств легированного медью чугуна.

Таблица 1 – Характеристика структур исследуемых чугунов

Наименование сплава	Содержание меди, %	Структура		Особенности структуры феррита
		Толщина цементитных пластин перлита, мкм	Расстояние между цементитными пластинами, мкм	
Исходный чугун	–	0,25–0,27	0,2–0,25	Просматривается зеренная структура размером 30–40 нм
Легированный чистой медью	0,46	0,1–0,2	0,15–0,2	Наблюдается измельчение зеренной структуры 10–30 нм
Легированный медьсодержащим шлаком	0,48	0,15–0,25	0,18–0,20	Наблюдается измельчение зеренной структуры 10–30 нм

В качестве примера на рисунке 4 представлены фотографии микроструктур исследуемых чугунов, подтверждающие полученные результаты.



а – исходный; *б* – легированный чистой медью; *в* – легированный медьсодержащим шлаком

Рисунок 4 – Микроструктуры исследуемых чугунов

Проведенные исследования структуры чугуна в исходном состоянии и легированном медью по различным вариантам с использованием съемки в характеристическом рентгеновском излучении выявили следующее:

- кремний равномерно распределен по исследованной поверхности;
- достаточно равномерно по всей поверхности распределен марганец, встречаются только его отдельные включения;
- фосфор присутствует в структуре чугуна в виде отдельных фосфидных эвтектик.

Легирование чугуна как чистой медью, так и медьсодержащим шлаком не оказывает существенного влияния на распределение основных элементов. Медь в легированном чугуне распределяется равномерно по всей исследованной поверхности (рисунок 5).

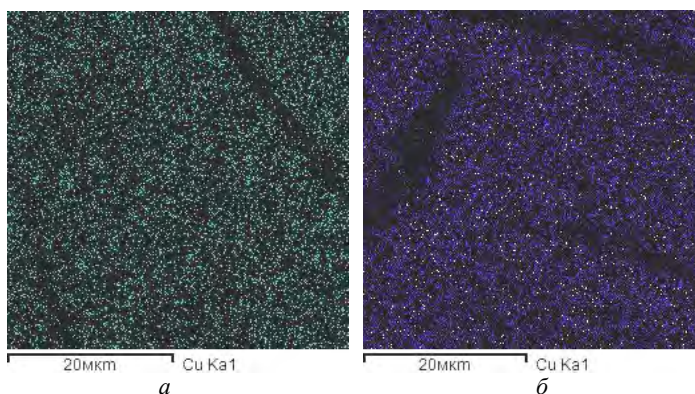


Рисунок 5 – Характер распределения элемента по площади в чугуне, легированном чистой медью (а) и медьсодержащим шлаком (б)

Точечный микрорентгеноспектральный анализ выявил присутствие отдельных включений меди, которые не удалось выявить при съемке в характеристическом рентгеновском излучении.

На основании проведенных исследований установлено, что использование отходов взамен чистой меди при легировании чугуна не приводит к существенному изменению его структуры и свойств.

Литература

1. **Экономное** легирование железоуглеродистых сплавов / С.Н. Леках [и др.]. – Минск: Наука и техника, 1996. – 286 с.
2. **Слущкий, А.Г.** Исследование особенностей легирования гильзового чугуна медьсодержащими отходами / А.Г. Слущкий, Р.Э. Трубицкий, В.А. Сметкин // *Литье и металлургия*. – 2005. – № 2, ч. 1. – С. 113–116.
3. **Разработка** состава и технологии выплавки экономнолегированного чугуна для гильз цилиндров автомобильных двигателей / А.Г. Слущкий [и др.] // *Металлургия: Республ. межведом. сб. науч. тр.* – Вып. 30. – Минск: БНТУ, 2006. – С. 71–74.
4. **Термодинамические** особенности процесса восстановления легирующих элементов из соединений / А.Г. Слущкий [и др.] // *Металлургия: Республ. межведом. сб. науч. тр.* – Вып. 32. – Минск: БНТУ, 2009. – С. 94–97.

УДК 621.745.669.13

А.Г. СЛУЦКИЙ, канд. техн. наук,
А.С. КАЛИНИЧЕНКО, д-р техн. наук,
Н.В. ЗЫК, канд. хим. наук,
А.А. АНДРИЦ, канд. техн. наук,
А.Н. ГЛУШАКОВ (БНТУ),
И.Л. ПОБОЛЬ, д-р техн. наук (НАНБ)

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПОЛУЧЕНИЯ ЛИТЫХ ЗАГОТОВОК ИЗ СПЕЦИАЛЬНОГО СПЛАВА

Целью настоящих исследований является изучение процесса получения литых заготовок из специального сплава Со–Ст–Мо медицинского назначения. При изготовлении изделий медицинского назначения широкое применение нашли безникелевые сплавы системы Со–Ст–Мо (таблица 1).