



The way of alloying of sleeve cast iron with copper is offered. This technology will enable not only to stabilize of qualitative characteristics of cast slugs, but to reduce the expenses for alloying due to using of secondary materials as well.

Р. Э. ТРУБИЦКИЙ, ОАО «Лидский ЛМЗ», А. Г. СЛУЦКИЙ, Г. В. ДОВНАР, В. А. СМЕТКИН, БНТУ

УДК 621.74.669.14

ЭКОНОМНОЕ ЛЕГИРОВАНИЕ ГИЛЬЗОВОГО ЧУГУНА МЕДЬЮ

В результате проведенных исследований [1] был установлен оптимальный химический состав гильзового чугуна по содержанию в нем основных и легирующих компонентов (табл. 1), обеспечивающий получение в отливках при литье в облицованный кокиль необходимой твердости и структуры.

Таблица 1. Оптимизированный химический состав чугуна на базе сплава ИЧГ-33М

C	Mn	Si	P	Cu	Cr	V	Ti
3,3– 3,7	0,6– 1,2	2,0– 2,6	0,2– 0,45	0,4– 0,8	0,3– 0,6	0,02– 0,15	0,02– 0,15

Наряду с карбидообразующими элементами (хром, ванадий, титан) в состав сплава входит медь – активный перлитизатор металлической основы. Для получения такого сплава на Лидском литейно-механическом заводе используют индукционные тигельные плавильные печи промышленной частоты емкостью 2,5 т. В качестве основных компонентов шихты применяют чугуны и стальной лом, возврат собственного производства. Для легирования используют ферросплавы хрома, ванадия, титана, а также чистую медь.

Применение таких легирующих компонентов приводит к существенному повышению стоимости литых заготовок гильз. Проведенные ранее исследования [2, 3] показали реальную возможность эффективного легирования железоуглеродистых сплавов различными цветными металлами через шлаковую фазу за счет использования промышленных отходов. Испытания ряда легирующих композиций на основе отходов, содержащих молибден, никель на ряде предприятий Республики Беларусь (Белорусский металлургический завод, Лунинецкий завод «Полесьеэлектромаш», Бобруйский машиностроительный завод), дали положительный результат.

Применительно к разработанному составу гильзового чугуна интерес представляет изучение возможности замены дорогостоящей меди на более дешевый материал. Таким материалом, на наш взгляд, является медьсодержащий шлак, который образуется при выплавке различных марок бронзы и латуни. Он представляет собой конгломерат, содержащий металлические корольки и неметаллическую составляющую.

Для утилизации медьсодержащих шлаков применяют два процесса: переплав шлака в шахтной печи и технологию, которая предусматривает измельчение шлака в шаровой мельнице с последующим разделением продуктов помола на сите на металлический концентрат и хвосты. Концентрат используется в качестве шихты для выплавки медных сплавов, а хвосты направляют на медеплавильные заводы [4].

В настоящей работе ставилась следующая задача: провести комплексное исследование фракционного, химического, рентгеноструктурного анализов медьсодержащего шлака и на их основе разработать составы добавок для легирования гильзового чугуна медью.

Исходным материалом служили шлаки выплавки латуней (Л63, Л70, ЛС59-1) и оловянистой бронзы на предприятиях Республики Беларусь. Фракционный состав данных материалов устанавливали методом ситового анализа по ГОСТ 26136-84. Содержание металлической части в испытываемых навесках определяли металлургическим выходом по ГОСТ 17710-79, химический состав шлаков – методами рентгеноспектрального, атомно-адсорбционного и химического анализов.

Изучением гранулометрических характеристик шлаков установлено, что они различаются в зависимости от его вида. Так, для шлаков выплавки латуни характерно увеличение доли мелкой фрак-

ции, а для оловянистой бронзы – большая доля крупной фракции. Основная причина различия гранулометрических характеристик исследуемых шлаков заключается, по-видимому, в используемых при выплавке латуней и бронз разных технологий.

Исследуемые шлаки представляют собой конгломераты, состоящие из частиц металла (корольки), вкрапленных в неоднородной массе неметаллической составляющей. Химический состав металлических корольков практически отвечает составу сплава, при выплавке которого произошло образование шлака (табл. 2).

По результатам исследований, проведенных на установке Spectroscan MAX-GV, химический состав неметаллической части шлака в основном представлен оксидами основных и легирующих компонентов сплава, ингредиентами отработанного флюса, компонентами, входящими в состав печной футеровки (табл. 3).

Методом рентгеноструктурного анализа на установке ДРОН-3 выявлено, что в различных фракциях неметаллической составляющей бронзового шлака Cu содержится как в чистом виде, так и в соединении с кислородом (табл. 4).

Из таблицы видно, что основное количество Cu в шлаке содержится в чистом виде и только небольшая часть в виде оксидов CuO и Cu₂O, причем их доля по мере уменьшения размера фракции возрастает от 2,5 до 20%.

Таким образом, проведенные исследования фракционного, химического и рентгеноструктурного состава медьсодержащих шлаков показали воз-

можность их использования в качестве легирующей добавки при выплавке сплавов на основе железа.

Расчеты распределения меди между шлаком и металлом по реакциям восстановления кремнием и углеродом жидкого чугуна свидетельствуют о том, что при всех температурах плавки с точки зрения термодинамики следует ожидать полного (близкого с 100%) усвоения меди из оксидов [3].

В реальных условиях плавки и легирования чугуна в индукционных тигельных печах полное восстановление меди из оксидов невозможно вследствие кинетического торможения процесса. Шлаки при индукционном переплаве вследствие невысокой электропроводности имеют низкую температуру и высокую вязкость, что затрудняет протекание окислительно-восстановительных реакций между металлической и оксидной жидкими фазами. Это подтвердили результаты заводских испытаний технологии легирования гильзового чугуна медьсодержащими катализаторами типа НТК-4. Степень восстановления меди из оксидной фазы не превышала 70%.

В табл. 5 приведены результаты расчетов температуры начала восстановления ($T_{н.в.}$) ряда легирующих элементов твердым углеродом, проведенных по методике из работы [5].

С целью проверки полученных расчетных данных в лабораторных условиях проведены исследования процесса восстановления ряда легирующих элементов из оксидов твердым углеродом.

Т а б л и ц а 2. Химический состав металлической части исследуемых шлаков

Наименование шлака	Содержание, %			
	Zn	Pb	Sn	Cu
Латунный	16,3	–	–	остальное
Бронзовый	2,3	4,2	4,6	остальное

Т а б л и ц а 3. Химический состав неметаллической части бронзового шлака

Размер фракции, мм	Компоненты, %								
	Al ₂ O ₃	SiO ₂	P ₂ O ₅	Fe ₂ O ₃	Cu+CuO Cu ₂ O	ZnO	SnO	PbO	другие примеси
04	24,3	11,3	1,4	5,6	37,2	9,6	1,9	5,6	остальное
02	23,4	16,6	1,6	4,9	35,7	7,9	2,0	4,7	остальное
01	35,7	8,9	1,8	6,2	23,6	13,2	1,3	4,8	остальное
<0,05	12,2	7,9	0,9	7,0	33,9	21,2	1,8	9,7	остальное

Т а б л и ц а 4. Рентгеноструктурный анализ медьсодержащей составляющей бронзового шлака

Размер фракции, мм	Cu	CuO	Cu ₂ O
04	94,5	3,0	2,5
02	91,5	4,5	4,0
01	81,0	13,0	6,0
<0,05	72,0	20,0	8,0

Таблица 5. Расчетные значения температуры начала восстановления элементов твердым углеродом

Восстанавливаемый металл, $T_{н.в.}$, К	Медь	Никель	Ванадий	Хром	Титан
Графический метод	360	750	1540	1510	1980
Аналитический метод	363	748	1535	1505	1973

Таблица 6. Влияние способа ввода шлака на эффективность легирования чугуна медью

Способ ввода шлака	Содержание элементов, %				Усвоение, %
	С	Si	медь		
			фактическое	расчетное	
На зеркало жидкого чугуна	3,26	1,87	0,23	0,5	46
В металлозавалку	3,22	1,83	0,41	0,5	82
В металлозавалку в смеси с твердым углеродом	3,32	1,90	0,47	0,5	94

Установка для проведения опытов состояла из электрической печи, реакционной трубки, манометра, термодпары и потенциометра. В лодочку засыпали смесь оксида исследуемого металла и углерода (с избытком). Поддерживая равномерный нагрев печи (10–15°C/мин), через определенное время фиксировали показания манометра. Начало восстановления металла сопровождалось резким выделением газа СО. Установлено, что температура начала восстановления таких металлов, как медь, никель, оказалась близкой к расчетной и составила соответственно 360, 750 К. Анализ теоретических и экспериментальных исследований показал, что для никеля и особенно для меди температура начала восстановления твердым углеродом невысокая, а значит, их легко можно восстанавливать твердым углеродом в процессе нагрева шихты в плавильной печи.

Полученные результаты были использованы при разработке технологии экономного легирования гильзового чугуна медью, выплавляемого в индукционных печах ОАО «Лидский литейно-механический завод». Для обеспечения требуемой микроструктуры и свойств отливок используют комплексное легирование расплава медью, ванадием, хромом, титаном. На данном заводе совместно со специалистами БНТУ ранее были проведены исследования по разработке технологии экономного легирования чугуна ванадием. В настоящее время на предприятии поставлена задача найти замену дорогостоящей катодной меди, используемой при выплавке гильзового чугуна.

В лабораторных условиях проведены исследования процессов легирования чугуна с использованием медьсодержащего шлака, который вводили в расплав по различным вариантам из расчета получения в сплаве 0,5% меди (табл. 6).

Из таблицы видно, что степень восстановления меди при введении шлака изменяется в широких пределах: от 46 до 94%. Максимальный эффект

получен при использовании медьсодержащего шлака в смеси с твердым углеродом.

Проведенные исследования позволили предложить новый вариант шихты для выплавки гильзового чугуна. Он отличается от традиционного тем, что дорогостоящая катодная медь заменена на легирующую присадку, в качестве исходных материалов использовали присадку, состоящую из предварительно измельченного шлака от выплавки бронзы и древесного угля в соотношении 50:1.

На ОАО «Лидский ЛМЗ» проведены испытания данной технологии. Плавку чугуна осуществляли с использованием остатка жидкого металла в печи ИИТ-2,5. Масса «болота» составляла не менее 30% от массы номинальной загрузки шихты в тигле плавильной печи. Ввод компонентов шихты производили в определенной последовательности: чугунная рассыпная стружка, лом чугунный, лом стальной, медь катодная либо медьсодержащая добавка, возврат собственного производства. После полного расплавления шихты в печь вводили необходимое количество ферросплавов и остальную часть карбюризатора при температуре жидкого металла 1450–1500 С. Затем шлак скачивали, замеряли температуру металла, заливали пробу для определения химического состава, расплав нагревали до 1450–1500 °С, выдерживали 5–10 мин и выпускали в раздаточный ковш для перелива в магнито-динамическую установку МДН бч-3. Легирующую медьсодержащую присадку вводили в твердую завалку в количествах, обеспечивающих с учетом усвоения получение в чугуне требуемого количества меди. Ковшовое модифицирование производили модификатором SB-5 (Германия). После охлаждения отливок определяли их твердость и микроструктуру. Всего было проведено две опытные плавки. В первой плавке в шихту добавляли медь катодную, во второй – медьсодержащую присадку на основе шлака. Полученные результаты приведены в табл. 7 и показаны на рис. 1, 2.

Т а б л и ц а 7. Химический состав гильзового чугуна

Номер плавки	Способ легирования	Содержание элементов, %								Твердость НВ
		С	Р	Cr	Mn	V	Ti	Si	Cu	
1	Чистая медь	3,52	0,28	0,36	0,72	0,022	0,018	2,25	0,46	234
2	Медьсодержащий шлак	3,50	0,30	0,34	0,80	0,020	0,016	2,30	0,44	239

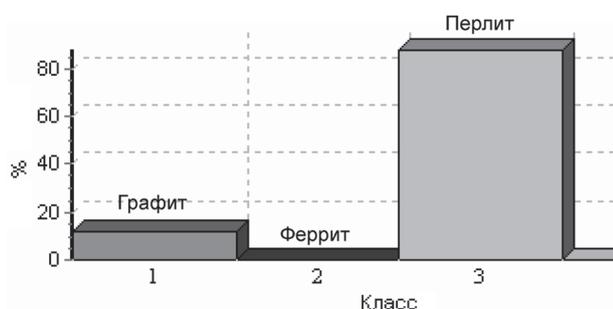


Рис. 1. Распределение основных структурных составляющих в чугуне, легированном чистой медью

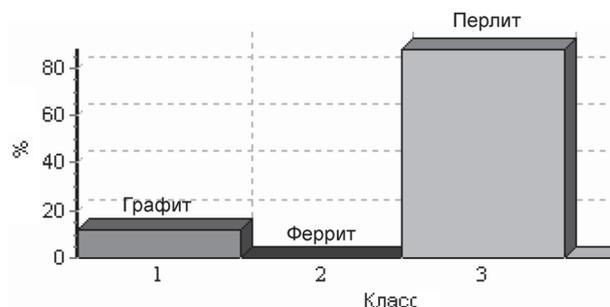


Рис. 2. Распределение основных структурных составляющих в чугуне, легированном медьсодержащим шлаком

В результате проведенных исследований установлено, что по всем параметрам (химический состав, твердость, микроструктура) плавка № 2 не отличается от плавки № 1, а изготовленная опытная партия отливок гильз цилиндров соответствует требованиям чертежа.

На основании разработанной технологии были внесены коррективы в технологический процесс получения отливок гильз цилиндров на ОАО «Лидский ЛМЗ», изготовлены опытная и опытно-промышленная партии и отправлены на Заволжский моторный завод. Замечаний по качеству поставленных партий отливок гильз цилиндров не было. Для более глубоких металлографических исследований из полученных отливок были вырезаны образцы и отправлены в Институт порошковой металлургии. С использованием сканирующего электронного микроскопа высокого разрешения при увеличении 100 000 выявлены некоторые особенности в структурах исследуемых чугунов (табл. 8).

Исследования 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 как 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 свойства легированного медью чугуна. В качестве примера на рис. 3 приведены фотографии микроструктур исследуемых чугунов, подтверждающие полученные результаты.

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

Таким образом, в результате теоретических и экспериментальных исследований предложен способ легирования гильзового чугуна медью. Внедрение данной технологии позволит не только стабилизировать качественные характеристики литых заготовок, но и сократить затраты на легирование за счет использования вторичных материалов.

Т а б л и ц а 8. Характеристика структур исследуемых чугунов

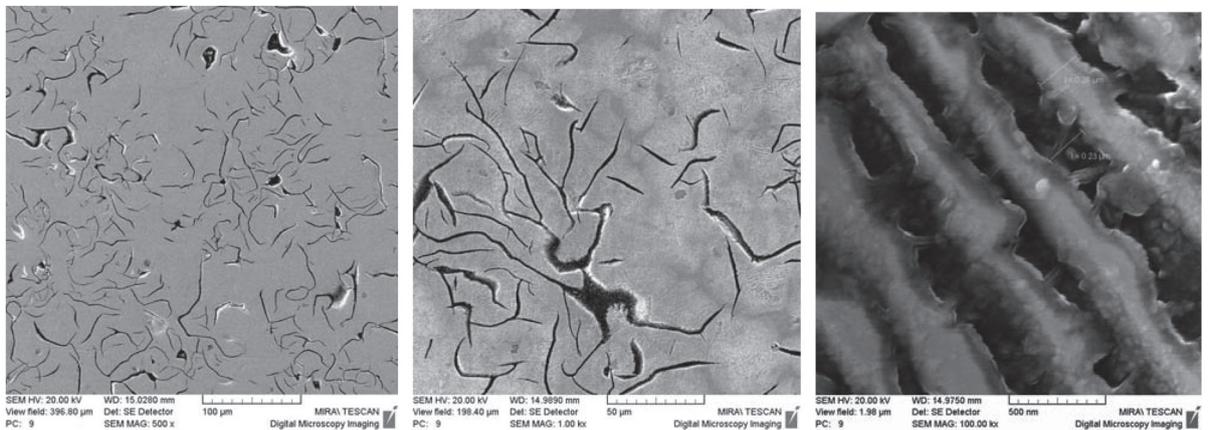
Наименование сплава	Содержание меди, %	Структура		Особенности структуры феррита
		толщина цементитных пластин перлита, мкм	расстояние между цементитными пластинами, мкм	
Исходный чугун	—	0,25–0,27	0,2–0,25	Просматривается зеренная структура размером 30–40 нм
Легированный чистой медью	0,46	0,1–0,2	0,15–0,2	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



a



б



в

Графит. $\times 100$

Металлическая основа. $\times 400$

Дисперсность перлита. $\times 100\ 000$

Рис. 3. Микроструктура исследуемых чугунов: *a* – исходный; *б* – легированный чистой медью; *в* – легированный медьсодержащим шлаком

Литература

1. Слуцкий А. Г., Трубицкий Р. Э., Довнар Г. В., Каледин Б. А. Разработка состава и технологии выплавки экономнолегированного чугуна для гильз цилиндров автомобильных двигателей // *Металлургия*. Мн., 2006. № 30. С. 71–74.
2. Лекаш С. Н., Мартынюк М. Н., Слуцкий А. Г. и др. Экономное легирование железо-углеродистых сплавов. Мн.: Наука і тэхніка, 1996.
3. Слуцкий А. Г., Трубицкий Р. Э., Сметкин В. А. Исследование особенностей легирования гильзового чугуна медьсодержащими отходами // *Литье и металлургия*. 2005. № 2. Ч. 1. С. 113–116.
4. Задиранов А. Н. Исследования и оптимизация процесса. Утилизации металла из медьсодержащих шлаков, образующихся в плавильно-литейных цехах металлургических предприятий: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. М., 1993.
5. Казачков Е. А. Расчеты по теории металлургических процессов. М.: Металлургия, 1988.