

Описана технология выплавки в индукционных печах синтетических чугунов разного функционального назначения с применением в составе шихты комплексных металлургических смесей из углерод-карбидкремниевых материалов марок УККС в литейных цехах предприятий металлургического и машиностроительного комплексов.

### Ключевые слова

CSiC-смеси, углерод-карбидкремниевая смесь, карбид кремния, синтетический чугун.

АННОТАЦИЯ

THE SUMMARY

Described is the technology of making synthetic irons of various functional purposes in induction furnaces using complex metallurgical mixes of UKKS CSiC materials in foundries of the metallurgical and machine-building complexes.

### Key words

CSiC mixes, carbon-silicon carbide mix, silicon carbide, synthetic iron.

УДК 621.745.35

- М.И. Гасик, А.Д. Подольчук, И.В. Деревянко, А.Н. Овчарук, В.М. Гацуро (НМетАУ, Украина, г. Днепропетровск; ООО «НПФ АМЮС», Россия, Москва; ОАО «Могилевский металлургический завод», Респ. Беларусь)
- M.I. Gasik, A.D. Podolchuk, I.V. Derevyanko, A.N. Ovcharuk, V.M. Gatsuro

## Выплавка синтетических чугунов на шихте, содержащей углерод-карбидкремниевые материалы УККС Making Synthetic Irons on the Charge-Containing CSiC Materials UKKS

Из практики литейного производства известно, что доменные чугуны одинакового химсостава, но выплавленные на разных металлургических заводах, различаются структурой металлической основы (МО), размером и формой графитовых включений, микропримесями элементов и т.д. Эти наследственные свойства при переплаве доменных чугунов в литейном производстве передаются выплавленному металлу и часто становятся причиной металлургического брака.

Одно из основных направлений повышения качества чугунных отливок и снижения их себестоимости – получение отливок из чугунов, выплавленных из шихты с большой долей стального лома, представляющие собой синтетические и полусинтетические чугуны с заданными свойствами. Синтетический чугун (СиЧ), как правило, выплавляют в индукционных печах (ИП) и вагранках, используя в качестве металлошихты 50...70% литейного чугуна или возврат собственного производства и 30...50% амортизационного стального лома, а для науглероживания расплава применяют графит, литейный или доменный кокс. Для получения чугуна, стандартного по содержанию Si, его легируют ферросилицием.

Качество и себестоимость полученного чугуна напрямую зависит от качества и стоимости шихтовых материалов, а также количества и цены потребляемой электроэнергии. Чтобы получить в ИП качественный чугун, не уступающий зарубежным аналогам, необходимо применять для плавки рафинированные чушковые чугуны, то есть чугуны с низким содержанием вредных примесей, таких, как фосфор, сера, мышьяк,

свинец, олово, кислород, азот, водород и т.д. В последние десятилетия осталось мало предприятий, производящих такие чугуны, а если кто и производит, то цены на них довольно высоки. *Альтернатива рафинированным чушковым чугунам – применять в шихте увеличенное количество стального лома и получать SiЧ.*

Относительная дешевизна стального лома, высокое качество и хорошие механические свойства получаемого чугуна делают его единственным заменителем высококачественных чугунов, выплавляемых на рафинированных чушковых чугунах. Стальные отходы – более качественные материалы, чем литейные и передельные чугуны, но их применение требует науглероживания расплава и введения ферросплавов для получения SiЧ с заданным марочным содержанием по Si и C. Недостатки выплавки SiЧ в ИП, с использованием в шихте карбюризатора и ферросилиция: перегрев металла, кислые шлаки, высокая твердость SiЧ, склонность чугуна к отбелу, перерасход науглероживателя и ферросилиция, снижение стойкости футеровки.

Коллективом авторов под руководством заведующего кафедрой электрометаллургии НМетАУ (Украина, г. Днепропетровск), акад. НАН Украины М.И. Гасика, совместно с ООО «НПФ АМЮС» (РФ, Москва), разработана технология выплавки Fe–C-сплавов разного функционального назначения в ИП [1, 2], которая включает завалку металлической части шихты, плавление и легирование расплава Si- и C-содержащими материалами Si и C. При этом, Si в составе смеси содержится в виде карбида кремния металлургического (SiC – 70% Si; 30% C), а C – в виде связанного углерода карбида кремния и свободного углерода в виде термообработанных (ТО) C-содержащих материалов электродного производства и/или графита.

Разработанная технология позволяет выплавлять Fe–C-сплавы с заданными свойствами и марочным содержанием Si и C в расплаве, с возможностью гибкой корректировки его химсостава на разных этапах плавки. В основе технологии – свойства материалов, применяемых для изготовления металлургических смесей из углеродкарбидкремниевых материалов (CSiC-смесей) марок УККС. SiC содержит меньше неметаллических включений и примесей цветных металлов, чем ферросилиций, меньше газов и способствует выделению элементарного углерода  $C_{\text{тв}}$ , образующего в расплаве центры графитизации.

ТО-материал (C-содержащий электродного производства) представляет собой обожженный при высоких температурах антрацит, кокс или графит, упорядоченная кристаллическая решетка которого делает его инертнее к окислительной атмосфере и активнее к Fe-расплавам.

Введение в расплав SiC, совместно с этим материалом обеспечивает процесс науглероживания, увеличение концентрации Si в расплаве. При этом, повышается графитизирующая способность чугуна, снижается окисленность шлака и уменьшается склонность чугуна к отбелу.

Технология позволяет выплавлять в ИП Fe–C-сплавы, требующие легирования расплава Si и C (стальную и чугунную дробь, SiЧ как с пластинчатым, так и с шаровидным графитом – ЧШГ и т.д.). В технологии плавки используют свойство SiC растворяться при взаимодействии с жидким металлом, с ассимиляцией Si и C в расплаве, при температурах, ниже температуры плавления металла.

Одновременно происходит восстановление окислов железа, содержащихся в шлаке и образовавшихся при плавлении шихты, что способствует формированию рассыпчатых шлаков в период плавки и снижению общего угара элементов. Процесс растворения зерен SiC проходит очень быстро (1...2 мин) при 1250°C, Si образует с Fe раствор, продифундировавший углерод выделяется в виде вторичного графита. Это свойство SiC влияет: на увеличение числа зародышей графита и обеспечивает получение мелкодисперсного, равномерно распределенного графита в МО на снижение температуры эвтектического переохлаждения чугуна, что улучшает графитизирующие свойства SiЧ и повышает его механические характеристики.

При модифицировании чугуна ФС75 количество образующихся в расплаве эвтектических частиц в 5–8 раз меньше, а температура эвтектического переохлаждения чугуна в 2–3 раза выше, чем при введении в расплав SiC, свойство которого влиять на структуру графита позволяет применять смеси УККС и в качестве модификатора при выплавке чугунов на основе чугунного лома, вводя смесь УККС на зеркало металла после снятия шлака.

Введение 0,2...0,6% смесей УККС (от массы металла в печи) позволяет снизить отбел, улучшить структуру чугуна и повысить его жидкотекучесть. Выделение большого количества тепла при растворении SiC также способствует наиболее полному усвоению свободного углерода, на-

ходящегося в смеси, и компенсирует тепловые потери расплава на его усвоение.

В процессе освоения этой технологии на предприятиях России, Украины и Беларуси были разработаны основные марки смесей УККС для плавки SiC:

- на высечке динамной стали – УККС-7-10 (7...10% Si, 75...85% C);
- марок СЧ10-15 и ЧШГ – УККС-19 (19% Si; 65...75% C);
- марок СЧ20-25 и ЧШГ – УККС-25 (25% Si; 60...65% C);
- марок СЧ25-35 и ЧШГ – УККС-31 (31% Si; 55...60% C);

а также для плавки стальной и чугунной дробы – УККС-42-45 (42...45% Si, 45...55% C).

Для выплавки ЧШГ разработаны и опробованы комплексные смеси с пониженным содержанием серы – УККС с литерами «А» и «Б» (с содержанием S в смесях до 0,05 и до 0,15%, соответственно). Опытные плавки по получению SiC с использованием в составе шихты CSiC-смесей марок УККС в тигельных ИП промышленной, средней и высокой частоты доказали эффективность этого способа. Наилучшее усвоение компонентов (92...96% по «Si» и 85...92% по «C») из состава смеси было получено на печах промышленной частоты, что обусловлено высокой интенсивностью электромагнитного (ЭМ) перемешивания расплава в печи.

В ИП средней и высокой частоты результаты усвоения компонентов смеси составили, соответственно: 90...95 и 85...92% по «Si», 82...86 и 75...82% по «C», что обусловлено более низкой в ~ 1,7–2,5 и 5–8 раз, соответственно, по сравнению с печами промышленной частоты, интенсивностью ЭМ-перемешивания.

Полученные результаты обусловлены зависимостью скорости разрушения связей между атомами в решетке CSiC, путем омывания слоев Si и C жидким металлом, от интенсивности ЭМ-перемешивания металла в печи. Во всех случаях был выплавлен SiC с заданной структурой и механическими свойствами. В структуре металла получен мелкодисперсный, равномерно распределенный пластинчатый графит, что обеспечило повышение механических свойств SiC на 10...15%.

Применение способа выплавки SiC в ИП разной частоты показало его эффективность и позволило снизить себестоимость продукции:

- на \$ 6...20 на 1 т отливок, по сравнению с традиционным способом выплавки SiC;

- и на 30...50% по стоимости шихты, относительно плавки серого чугуна на рафинированных чушковых чугунах.

Выплавка синтетического ЧШГ с применением рассматриваемой технологии позволила получать ЧШГ с размерами и формой зерна, соответствующими ШГД 15,25 и ШГф 4,5, что подтверждает влияние SiC на образование в чугуне мелкодисперсного графита, склонного к глобуляризации.

Введение в завалку в составе шихты 6...8% CSiC-смесей УККС позволяет получать SiC заданных марок, по структуре и механическим свойствам не уступающие зарубежным аналогам. Модифицирование расплава чугуна смесями УККС, взамен дорогостоящих ферросплавов, эффективно снижает отбел в отливках, повышает жидкотекучесть чугуна, улучшает структуру чугуна и снижает твердость отливок.

### СПИСОК

#### ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пат. 2395589 РФ. МКИ 7 С21 С1/00. Способ выплавки железоуглеродистых сплавов в индукционных печах / А.Д. Подольчук, М.И. Гасик, В.В.Сербин и др. – Оpubл. 27.07.10.
2. Пат. 2282669 РФ. МКИ С22С35/00, 38/00. Брикет, используемый при производстве железоуглеродистого сплава (варианты) / А.Д. Подольчук, М.И. Гасик, В.В. Сербин и др. – Оpubл. 27.08.06.

### Сведения об авторах

**Гасик М.И.** – академик НАН Украины, д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой электрометаллургии НМетАУ (Украина, г. Днепропетровск). Тел.: +380-562-36-21-05.

**Подольчук А.Д.** – Ген. директор ООО «НПФ АМЮС». Тел.: +74991674035.

**Деревянко И.В.** – канд. техн. наук, доцент кафедры электрометаллургии НМетАУ. Тел.: +380-562-36-21-05.

**Овчарук А.Н.** – д-р техн. наук, проф., Ген. директор ООО НПФ «Техносплавы» (Украина, г. Днепропетровск).

**Гацуро В.М.** – заместитель главного инженера–главный металлург ОАО «Могилевский металлургический завод» (Беларусь, г. Могилев). Тел.: +375222267619.