

Техническая характеристика прокатного стана RT600

Тип	Двухвалковый
Валки:	
диаметр бочки, мм	600
длина бочки, мм	85
Частота вращения валков, об/мин	1,5/2,25
Толщина проката, мм	3...9
Привод:	
мощность, кВт	5,5/7,0
частота вращения ротора, об/мин	950/1450
Габаритные размеры, мм:	
длина	2530
ширина	1500
высота	2000
Масса, кг	4000
Габариты эстакады (без приемных бункеров), мм:	
длина	3400
ширина	2400
высота	4100

ЛИТЕРАТУРА

1. *Купряков, Ю.П.* Шлаки медеплавильного производства и их переработка / Ю.П. Купряков. М.: Металлургия. 1987. 201 с.
2. *Корюкин, Е.Б.* Флотационно-магнитная схема переработки конвертерных шлаков / Е.Б. Корюкин, С.Н. Литовских, О.В. Киреев // Цветные металлы. 2002. № 8. С. 18 – 20.
3. *Гречко, А.В.* Барботажная пирометаллургическая переработка отходов различных промышленных производств / А.В. Гречко, В.М. Парецкий, А.Д. Бессер // Цветные металлы. 2005. № 1. С. 42 – 44.
4. *Сиденко, П.М.* Измельчение в химической промышленности / П.М. Сиденко. М.: Химия, 1968. 382 с.
5. *Ложечников, Е.Б.* Прокатка в порошковой металлургии / Е.Б. Ложечников. М.: Металлургия, 1987. 184 с.
6. *Ложечников, Е.Б.* Переработка промышленных отходов в валковых мельницах / Е.Б. Ложечников, А.В. Бусел // Ресурсосберегающие и экономически чистые технологии: в 2 т. Т. 1. Труды науч.-техн. конф. Гродно, 1995. С. 165 – 170.

УДК 621.745.669.13

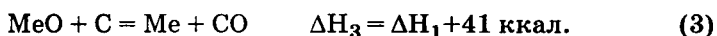
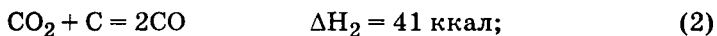
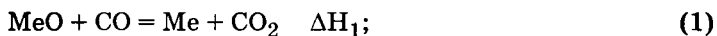
А.Г. СЛУЦКИЙ, канд. техн. наук, В.А. СМЕТКИН, канд. пед. наук,
О.А. СЛУЦКАЯ, В.Г. ПАВЛОВИЧ (БНТУ),
Р.Э. ТРУБИЦКИЙ (ОАО «Лидский ЛМЗ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВОССТАНОВЛЕНИЯ ЛЕГИРУЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ ПРИ ВЫПЛАВКЕ ЖЕЛЕЗОУГЛЕРОДИСТЫХ СПЛАВОВ

Процессы легирования железоуглеродистых сплавов находят широкое применение в металлургии и литейном производстве. Перспективным направлением является разработка ресурсосберегающих технологий экономного легирования сплавов за счет вто-

ричных ресурсов и отходов. Анализ показал, что в состав многих материалов входят ценные легирующие элементы в виде соединений. В этой связи научный и практический интерес представляет проведение термодинамических исследований по восстановлению легирующих элементов в процессе высокотемпературной плавки.

В качестве восстановителей наиболее широко используются газы, обладающие высоким химическим сродством к кислороду (CO , H_2), металлы, образующие прочные оксиды (Al , Si , Mg), а также твердый углерод. Восстановление оксидов металлов твердым углеродом протекает через газовую фазу по следующим реакциям:



Поскольку для реакций (1) и (2) газовая фаза состоит из одних и тех же компонентов (CO_2 и CO), условие равновесия реакции (3) – одинаковый состав газовой смеси $\text{CO}_2 - \text{CO}$ в данной системе. Для случая, когда металл, оксид и углерод являются твердой конденсированной фазой, равновесие реакции (1) характеризуется одной степенью свободы ($C = 3 - 4 + 2 = 1$) и зависит от температуры либо давления. Metallургические процессы в большинстве случаев протекают при постоянном давлении, и рассматриваемая система в этом случае является безвариантной. Температура, при которой реакция (3) находится в равновесии, имеет строго определенное значение. Ее называют температурой начала восстановления ($T_{\text{н.в}}$) металла из оксида твердым углеродом. В металлургических расчетах используют два метода.

По первому методу определяют зависимость равновесного состава газовой смеси ($\text{CO}_2 - \text{CO}$) для реакций (1), (2) как функцию температуры. Этот метод расчета является громоздким.

В данной работе использован метод расчета, основанный на том, что температура начала восстановления металла твердым углеродом соответствует температуре, при которой химическое сродство восстанавливаемого металла к кислороду и химическое сродство углерода к кислороду одинаковы [1]. При условии, когда активности металла и оксида равны единице, химическое сродство металла и углерода к кислороду оценивается величиной ΔG^0 для реакций образования MeO и CO :



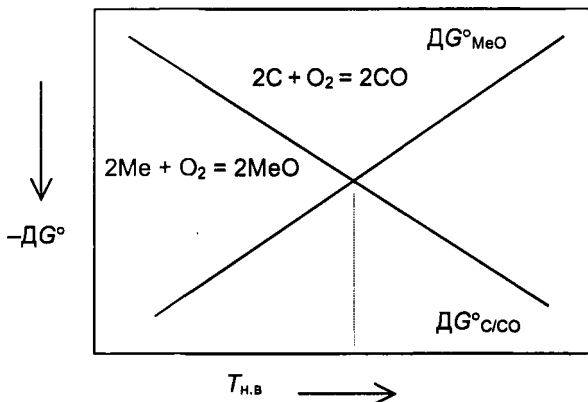


Рис. 1. Графический метод определения температуры начала восстановления ($T_{н.в.}$) металлов твердым углеродом

На рис. 1 приведена зависимость ΔG°_{MeO} и $\Delta G^{\circ}_{C/Co}$ от температуры и схема определения температуры начала восстановления металла углеродом. Как следует из рисунка, линии пересекаются при определенной температуре, которая соответствует равенству $\Delta G^{\circ}_{MeO} = \Delta G^{\circ}_{C/Co}$.

Значения $T_{н.в.}$ могут быть найдены и аналитическим методом по следующей формуле [1]:

$$T_{н.в.} = \frac{M_2 - M_1}{N_1 - N_2 + 38,3 \left(\frac{2}{y} \lg a_{(Me_xO_y)} \right) - \frac{x}{y} \lg \bar{b}_{[Me]} - \lg P}, \quad (4)$$

где M_1 , M_2 , N_1 , N_2 – коэффициенты, которые берутся из таблиц температурной зависимости ΔG° для соответствующих реакций; $a_{(Me_xO_y)}$ – активность оксида металла Me_xO_y ; $\bar{b}_{[Me]}$ – активность восстановленного металла; P – давление в системе.

При условии, когда $P = \text{const}$, $a_{(Me_xO_y)} = 1$, $\bar{b}_{[Me]} = 1$, формула (4) упрощается:

$$T_{н.в.} = \frac{M_2 - M_1}{N_1 - N_2}.$$

Результаты расчетов температуры начала восстановления ряда легирующих элементов представлены в табл. 1.

Расчетные значения $T_{н.в}$, К

Метод	Восстанавливаемый металл				
	Медь	Никель	Ванадий	Хром	Титан
Графический	360	750	1540	1510	1980
Аналитический	363	748	1535	1505	1973

С целью проверки получаемых расчетных данных в лабораторных условиях были проведены исследования процесса восстановления из оксидов ряда цветных металлов твердым углеродом.

Установка для проведения опытов состояла из электрической печи, реакционной трубки, манометра, термопары и потенциометра. В лодочку засыпали смесь оксида исследуемого металла и углерода (с избытком). Поддерживая равномерный нагрев печи (10... 15 °С/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 и 750 К. Анализ теоретических и экспериментальных исследований показал, что для никеля и особенно для меди температура начала восстановления твердым углеродом невысокая, значит, эти легирующие элементы можно легко восстанавливать 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, никелем, титаном, фосфором и другими элементами. На данном заводе совместно со специалистами БНТУ ранее были проведены исследования по разработке технологии экономного легирования чугуна никелем и ванадием. В настоящее время руководством предприятий поставлена задача найти замену дорогостоящей катодной меди. Анализ местных сырьевых ресурсов и смежных технологий позволил выявить источники медьсодержащих отходов (табл. 2).

Источники и состав медьсодержащих отходов

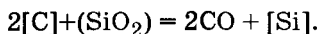
Отходы	Источник образования	Содержание компонентов, %		
		Медь	Оксиды меди	Остальное
Отработанные катализаторы	Химическая промышленность	–	58...62	MgO
Шламы	Гальваническое производство	–	70...75	2,5 SiO ₂ , 1,5 NiO, Al ₂ O ₃
Медьсодержащие шлаки	Литейное производство сплавов на основе меди	24...26	12...14	11 SiO ₂ , 5 Fe ₂ O ₃ , 1,9 SnO, 9,5 ZnO, 5,6 PbO

Из таблицы видно, что в отходах содержится достаточно большое количество меди, причем часть ее находится как в химически связанном состоянии, так и в свободном (например, в гальванических шлаках и отработанных катализаторах медь присутствует полностью в виде оксидов). Для проведения лабораторных и заводских испытаний были изготовлены легирующие присадки, имеющие в своем составе медьсодержащие отходы, углерод и флюсующие добавки. 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 к 100%) усвоения меди из оксидов [2]. Значения констант реакций оксида меди с углеродом и кремнием для жидкого чугуна можно рассчитать по формулам:

$$\lg K_C = \lg \frac{\bar{a}_{\text{Cu}} P_{\text{CO}}}{\bar{a}_{\text{C}} \bar{a}_{\text{(CuO)}}} = -\frac{8492}{T} + 11,84;$$

$$\lg K_{\text{Si}} = \lg \frac{\bar{a}_{\text{Cu}} [\bar{a}_{\text{(SiO}_2\text{)}}]^{1/2}}{[\bar{a}_{\text{(Si)}}]^{1/2} \bar{a}_{\text{(CuO)}}} = \frac{5954}{T} + 37.$$

При низких температурах более активно происходит восстановление за счет кремния, при высоких – благодаря углероду. Область перехода соответствует температуре равновесия тигельной реакции, зависит от соотношения углерода и кремния в чугуне и составляет 1380...1400 °C [2]:



В реальных условиях плавки и легирования чугуна в индукционных тигельных печах полное восстановление меди из оксидов невозможно вследствие кинетического торможения процесса. Известно, что усвоение легирующих элементов во многом зависит от

реологических свойств шлаковой фазы. Максимальной жидкотекучестью обладают хорошо перегретые шлаки при электродуговой плавке. Это обеспечивает достаточно высокое извлечение из оксидов даже такого трудновосстановимого элемента, как ванадий [3]. 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.

В лабораторных условиях проведены исследования процессов легирования чугуна медью с использованием отходов. Эксперименты проводили в печи сопротивления, когда в расплав массой 500 г при температуре 1400 °С вводили одинаковое количество медьсодержащих материалов. Результаты приведены в табл. 3.

Таблица 3

Зависимость эффективности легирования медью при плавке чугуна в печи сопротивления (величина добавки 1%, температура 1400 °С) от способа ввода отходов

Способ ввода медьсодержащих отходов	Содержание элементов, %				Усвоение, %
	Углерод	Кремний	Медь		
			фактическое	расчетное	
Исходный чугун	3,31	1,92	0,1	—	—
На зеркало жидкого металла	3,26	1,87	0,26	0,5	50
В металлозавалку	3,22	1,83	0,4	0,5	82
В металлозавалку в виде смеси отходов с углеродом	3,32	1,90	0,46	0,5	92

Плавка в печи сопротивления включала перегрев расплава до заданной температуры, введение в него расчетного количества медьсодержащей присадки, активное перемешивание в течение 5 мин и ускоренное охлаждение на воздухе. Из полученных результатов следует, что степень восстановления меди при введении отработанных катализаторов в зависимости от способа ввода колеблется в пределах 50...90%. Максимальный эффект получен при использовании легирующей присадки в виде смеси катализаторов и порошкообразного углерода. При этом содержание в чугуне кремния и углерода практически не изменилось. При добавках в твердую шихту только отработанных катализаторов усвоение меди достаточно высокое, но ниже расчетного. При этом концентрация углерода и кремния снижается, так как эти элементы расходуются на процесс восстановления меди.

При плавке гильзового чугуна в индукционной печи ИСТ-006 с «холодными» шлаками испытывали два варианта технологии. В первом случае медьсодержащие отходы вводили в чистом виде как в твердую завалку, так и на зеркало жидкого чугуна, во втором —

в виде смеси отходов с углеродом. При добавках присадок на зеркало металла предварительно скачивали первичный шлак. Наиболее предпочтительной является технология плавки, когда медьсодержащие отходы загружаются непосредственно в шихту в виде смеси с углеродом. При этом способе усвоение меди достигает 86% [4].

Проведенные исследования позволили предложить ОАО «Лидский ЛМЗ» состав шихты для выплавки экономнолегированного медью гильзового чугуна. Она отличается от традиционной тем, что дорогостоящая катодная медь заменена легирующей присадкой. В качестве исходных материалов использовали предварительно измельченные шлак от выплавки бронзы и древесный уголь в соотношении 50:1.

Опытные плавки осуществляли в промышленной индукционной печи ИЧТ-1. Испытывали вариант загрузки легирующей смеси в составе металлозавалки. Для получения требуемой концентрации в чугуне меди (0,5...0,7%) величина добавки легирующей присадки составляла 1,5% от массы шихты. Контролировали в ходе плавки химический состав металла, твердость отливок и их микроструктуру.

Анализ результатов показал, что по содержанию меди отливки соответствовали техническим требованиям. При этом твердость чугуна составляла 223...241 НВ. Микроструктура металлической основы, форма, распределение и количество графита, фосфидной эвтектики также соответствовали техническим требованиям.

На УПП «Универсал-Лит» проведены испытания легирующей присадки на основе оксида никеля при получении высокомарганцевистой стали 110Г13Л. Опытная плавка осуществлялась в дуговой электропечи с основной футеровкой вместимостью 8 т. Никельсодержащая присадка в количестве 1,3% вводилась на зеркало жидкой стали после скачивания первичного шлака. Химический анализ показал, что степень восстановления никеля составляет 75%.

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

ЛИТЕРАТУРА

1. *Казачков, Е.Л.* Расчеты по теории металлургических процессов / Е.Л. Казачков. М.: Металлургия, 1988. 288 с.
2. Экономное легирование железоуглеродистых сплавов / С.Н. Леках [и др.]. Мн.: Наука и техника, 1996. 173 с.
3. Плавка серых чугунов с ванадийсодержащей шлакометаллической фракцией / Д.Н. Худокормов [и др.] // Литейное производство. 1982. № 9. С. 4 – 5.
4. *Слуцкий, А.Г.* Исследование особенностей легирования гильзового чугуна медьсодержащими отходами / А.Г. Слуцкий, Р.Э. Трубицкий, В.А. Сметкин // Литье и металлургия. 2005. № 2. С. 113 – 116.