



УДК 669.046:66.046.5

ЭНЕРГОЕМКОСТЬ ПРОЦЕССА ЖИДКОФАЗНОЙ ВОССТАНОВИТЕЛЬНОЙ ПЛАВКИ

**В. Н. Костяков, Г. М. Григоренко, Е. Б. Полетаев,
С. Н. Медведь, Е. А. Шевчук**

Расчетным путем произведена оценка энергозатрат при жидкофазной плавке оксидов металлов. Показано, что при выплавке стали энергозатраты зависят от вида оксидов металлов и их содержания в шихте.

Calculation was used to estimate the power consumption in liquid-phase melting of oxides of metals. It is shown that in steel melting the power consumption depends on the type of oxides of metals and their content in a charge.

Ключевые слова: оксиды металлов; плавка; дуга; шлаки; рафинирование

Одним из перспективных направлений в области переплава отходов, образующихся в металлургии и машиностроении при производстве металлопродукции, является жидкофазная восстановительная плавка, в основу которой положен принцип восстановления металлов в жидкой ванне [1].

В настоящее время интенсивно ведутся работы по созданию технологии получения металлов и сплавов из оксидных материалов способом жидкофазного восстановления оксидов. Получены весьма убедительные данные, подтверждающие его эффективность [2–5].

В ряде публикаций [6–8] рассматриваются особенности жидкофазной плавки, взаимодействие фаз в ее процессе, методы расчета параметров и др. Вместе с тем вопросы энергоемкости этого процесса выпали из поля зрения исследователей.

Цель настоящей работы состояла в попытке установить основные параметры жидкофазной плавки, оказывающие решающее влияние на энергоемкость.

Задача плавки любого вида заключается в переплаве всей перерабатываемой шихты в расплавленное или газообразное состояние для получения металла и шлака, а также их разделения. Значительные различия физико-химических свойств химических соединений, составляющих шихту, прежде всего температуры их плавления, приводят к постепенному формированию расплава.

Шлакообразование, как правило, начинается после расплавления металлической составляющей

шихты и происходит медленнее, поскольку у большинства оксидов, входящих в шихту, температура плавления выше, чем у железа.

Период плавления шихты характеризуется многообразием процессов массо- и теплопереноса, обусловленных действием как теплотехнических, так и технологических факторов. Под первыми подразумевают совокупность физико-химических процессов, сопровождающих плавление (термическое разложение сложных соединений; восстановление оксидов металлов; плавление шихты и образование жидких фаз; разделение металлической и шлаковой фаз). Все эти процессы протекают в отдельные периоды процесса.

Характерной особенностью жидкофазной плавки является совмещение процессов расплавления шихты и восстановления оксидов металлов. Поэтому при жидкофазной восстановительной плавке можно выделить два следующих периода:

восстановительный;

выдержку металла в ходе восстановления.

В восстановительном периоде происходят процессы термического разложения соединений, восстановление оксидов, окисление примесей и углерода, а также расплавление шихты. Таким образом, продолжительность этого периода плавки большая, что существенно влияет на энергозатраты.

Вследствие различных условий нагрева и потребностей в энергии энергетический режим следует определять по отдельным периодам.

Жидкофазная плавка может производиться на жидком «болоте» металла или шлака. Эти режимы



Удельные энергозатраты на восстановление различных элементов

Реакция восстановления	Удельные энергозатраты	
	кВт·ч/кг	кДж/кг
$Fe_2O_3 + 3C = 2Fe + 3CO$	0,856	3082
$FeO + C = Fe + CO$	0,600	2174
$Cr_2O_3 + 3C = 2Cr + 3CO$	1,479	5327
$Cr_2O_3 + 27/7C = 2/7Cr_7C_3 + CO$	1,386	4992
$NiO + C = Ni + CO$	0,480	1731
$MoO_3 + 3C = Mo + 3CO$	0,816	2938
$WO_3 + 3C = W + 3CO$	0,600	2160
$CuO + C = Cu + CO$	0,162	583

значительно воздействуют на энергетические процессы [9].

Как правило, об экономичности любой плавки судят по удельным затратам энергии на выплавку металла. При жидкофазном восстановительном способе удельные затраты энергии можно выразить следующим образом:

$$q_{ж.ф} = q_0 + \sum_{i=1}^n \frac{G_i}{G_m} \varphi_i q_i$$

где q_0 — удельные затраты энергии при обычной плавке, кВт·ч/кг; q_i — удельные затраты энергии на восстановление оксида металла, содержащегося в шихте, кВт·ч/кг; G_i, G_m — количество соответс-

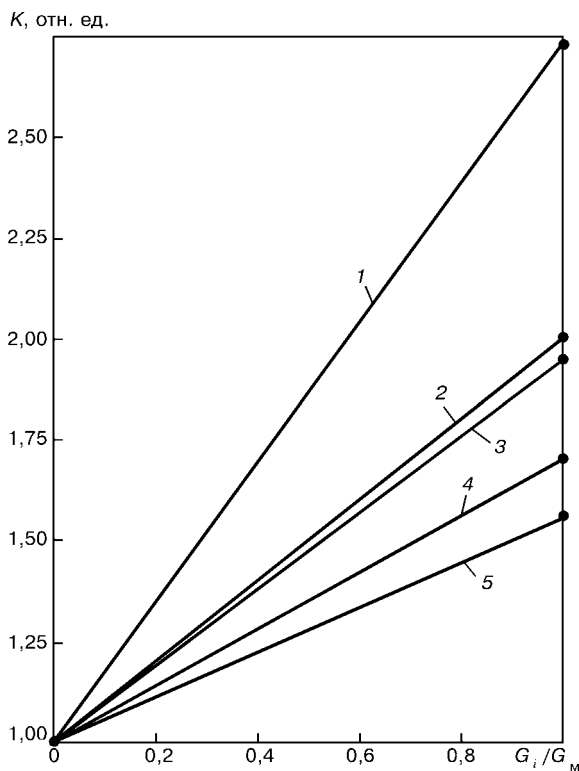


Рис. 1. Зависимость изменения относительного увеличения энергозатрат от содержания оксидов металла в шихте: 1 — Cr_2O_3 ; 2 — Fe_2O_3 ; 3 — MoO_3 ; 4 — WO_3 ; 5 — NiO

твенно оксида металла и металла в шихте, кг; φ_i — степень восстановления оксида.

Из этого выражения следует, что энергоёмкость процесса жидкофазной плавки зависит от вида и количества оксидсодержащих материалов в шихте, определяемых симплексом $(G_i/G_m)\varphi_i q_i$. Они всегда будут больше, по сравнению с обычной плавкой за счет затрат энергии на восстановление оксидов металлов (таблица).

Анализ данных таблицы показывает, что на восстановление оксидов металлов затрачивается большое количество энергии, существенно воздействующей на энергоёмкость процесса плавки. Для указанных оксидов металлов удельные затраты энергии изменяются от 0,162 до 1,479 кВт·ч/кг. Самые высокие удельные энергозатраты характерны для оксида хрома. Для наиболее применяемых оксидов железа (железная руда, окалина, металлургические шлаки и шламы и др.) удельные энергозатраты составляют 0,856 кВт·ч/кг, что превышает таковые при выплавке стали в дуговых электропечах [10].

С учетом ряда допущений и данных таблицы рассчитаны удельные энергозатраты на восстановление оксидов металлов при различном их содержании в шихте для процесса жидкофазной плавки. Расчетные данные приведены на рис. 1. Из них следует, что увеличение содержания оксидов в шихте при жидкофазной плавке повышает энергоёмкость процесса, по сравнению с обычной (мартеновской, электродуговой и др.). При этом относительное увеличение энергии выражено в виде коэффициента K , равного отношению энергозатрат при жидкофазной и обычной плавках ($K = q_{ж.ф}/q_0$).

Наиболее значительные энергозатраты присущи оксидам хрома и молибдена, которые могут использоваться для получения шихтовой заготовки, содержащей легирующие элементы хром и молибден. Так, например, введение в шихту 30 % Cr_2O_3 или MoO_3 увеличивает энергоёмкость жидкофазной плавки соответственно в 1,52 и 1,17 раза.

На рис. 2 показано изменение энергозатрат на выплавку легированных сталей способом плавки в

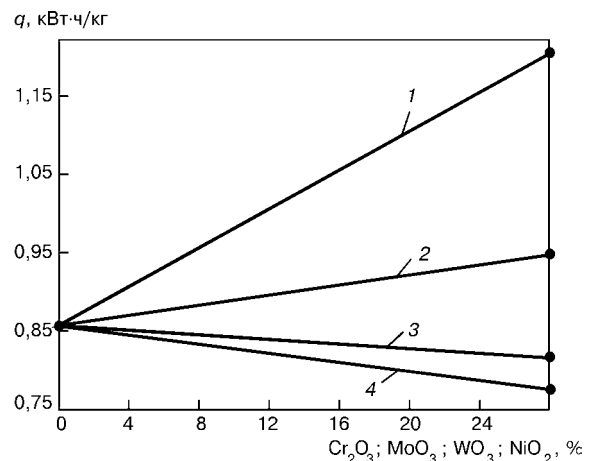


Рис. 2. Зависимость энергозатрат при выплавке стали от содержания легирующих элементов: 1 — Cr_2O_3 ; 2 — MoO_3 ; 3 — WO_3 ; 4 — NiO



жидкой ванне с использованием в качестве легирующих элементов оксидов металлов.

Анализ приведенных данных показывает, что легирование обычной стали малыми добавками хрома, никеля, молибдена, вольфрама практически не влияет на затраты энергии. При выплавке стали с высокой массовой долей хрома использование оксида хрома существенно повышает энергоемкость процесса плавки.

Например, энергоемкость плавки нержавеющей стали Х18Н10 из шихты, содержащей углеродистую сталь, оксиды хрома и никеля, по сравнению с обычной плавкой, увеличивается на 23 %. Выплавка стали с содержанием 30 % хрома повышает энергоемкость процесса плавки на 45 %.

Следует отметить, что энергоемкость жидкофазной восстановительной плавки будет всегда выше, по сравнению с обычной. Однако существенная разница в стоимости легирующих элементов в виде ферросплавов и оксидов полностью покрывает дополнительные затраты на энергоноситель при жидкофазной плавке.

Таким образом, предложенная зависимость и данные аналитических расчетов позволяют оценить энергозатраты при жидкофазной плавке легированных чугуна и стали из оксидсодержащих материалов (первородное сырье, металлургические шламы и шлаки, окалина, гальваношламы и др.), а также определить экономические аспекты ее применения.

1. Плавка в жидкой ванне / А. В. Ванюков, В. П. Быстров, А. Д. Васкевич и др. — М.: Металлургия, 1988. — 208 с.
2. Роменец В. А. Процесс жидкофазного восстановления железа: разработка и реализация // Сталь. — 1990. — № 8. — С. 20–27.
3. Ланухов Г. А. Утилизация электросталеплавильной пыли с использованием жидкофазного восстановления // Электрометаллургия. — 1998. — № 5–6. — С. 55–58.
4. Карботермическое восстановление металлов из электродлитного шлама в плазменной печи / В. Н. Костяков, Е. Б. Полетаев, Г. М. Григоренко и др. // Пробл. спец. электрометаллургии. — 2000. — № 1. — С. 32–37.
5. Костяков В. Н. Резервы ценного сырья // Металлы Евразии. — 2005. — № 1. — С. 72–73.
6. Расчет материального и теплового балансов процесса жидкофазного восстановления Ромелт / В. С. Балавин, Ю. В. Пахвиснев, С. В. Вандарьев и др. // Сталь. — 1996. — № 7. — С. 59–63.
7. Паниотов Ю. С., Иващенко В. П., Мамешин В. С. Жидкофазное восстановление железа в прямоточном реакторе // Металл и литье Украины. — 2004. — № 6. — С. 7–9.
8. Механизм восстановительной плавки / В. Н. Костяков, В. Л. Найдек, Н. И. Тарасевич и др. // Процессы литья. — 2005. — № 2. — С. 3–10.
9. Поведение углерода при жидкофазной восстановительной плавке отвальных электросталеплавильных шлаков в дуговой печи / В. Н. Костяков, В. Л. Найдек, Е. Б. Полетаев, С. Н. Медведь // Там же. — 2005. — № 4. — С. 3–5.
10. Дуговые электропечи / А. И. Строганов, Г. Н. Сергеев, О. А. Лабунович, А. И. Маркелов. — М.: Металлургия, 1972. — 288 с.

Физико-технологический ин-т металлов и сплавов

НАН Украины, Киев

Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины, Киев

Поступила 14.12.2005

г. УФА, 24-27 ОКТЯБРЯ 2006 ГОДА

IX МЕЖДУНАРОДНАЯ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННАЯ ВЫСТАВКА

"МАШИНОСТРОЕНИЕ"

МЕЖДУНАРОДНЫЙ СВАРОЧНЫЙ ФОРУМ

в который входят:

- V КОНКУРС СВАРЩИКОВ РОССИИ И СТРАН СНГ
- VI МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
- IX МЕЖДУНАРОДНАЯ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННАЯ ВЫСТАВКА

"СВАРКА. КОНТРОЛЬ. РЕНОВАЦИЯ"

Информационная поддержка:

450080, Россия, Республика Башкортостан, г. Уфа а/я 144
 Тел.: (3472) 565-180, 565-186, 565-461
 Факс: (3472) 908-707
 E-mail: welding@bashexpo.ru, mash@bashexpo.ru
 http://www.bashexpo.ru

БАШЭКСПО
 ВЫСТАВОЧНЫЙ ЦЕНТР