

---

## МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ И МЕТАЛЛООБРАБОТКА

---

УДК 669.243.881

### УСТАНОВЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ОБОГАЩЕНИЯ ФЕРРОНИКЕЛЯ, ПОЛУЧЕННОГО ИЗ ЖЕЛЕЗОХРОМОНИКЕЛЕВЫХ РУД ХАЛИЛОВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

А.М. Бигеев, М.В. Арсланова  
e-mail: tmp@magtu.ru

Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова,  
г. Магнитогорск, Россия

Статья поступила 28 февраля 2004 г.

Технический прогресс в машиностроении, энергетике, химии, транспорте обуславливает увеличение потребности в качественных сталях и сплавах. Одним из важнейших металлов, применяемых для выплавки легированных сталей, является никель.

В настоящее время по объему производства никеля Россия занимает второе место в мире. Однако, несмотря на значительный объем производства никеля, потребность в нем полностью не удовлетворяется. В то же время в нашей стране ощущается дефицит относительно недорогих никелевых сплавов с высоким содержанием никеля (Ni ~ 50 %).

Дальнейшее увеличение производства никеля требует расширения сырьевой базы, так как разведанные запасы никелевых руд недостаточны для удовлетворения потребности в никеле различных отраслей промышленности [1].

Серьезным дополнительным источником для производства никеля и железа могут служить железохромоникелевые руды Орско-Халиловского района, если их комплексную переработку осуществлять способом бескоксового многоступенчатого жидкофазного восстановления.

Согласно разрабатываемой технологии ферроникель, полученный на первой стадии восстановления подвергается металлургическому обогащению путем окисления железа продувкой кислородом. Поскольку сродство никеля к кислороду ничтожно мало, вдуваемый в металл кислород расходуется практически полностью на окисление железа. Необходимость применения воды для охлаждения на стадии обогащения связана с тем, что происходит окисление железа газообразным кислородом в количествах, вызывающих перегрев ванны жидкого металла.

Основной задачей данной работы является установление основных параметров процесса металлургического обогащения ферроникеля.

Важнейшими параметрами процесса являются количество сплава в конце рафинирования, количество окисляемого железа, расход кислорода на окисление железа и расход воды на охлаждение ванны. Для установления закономерности изменения основных параметров можно принять следующие допущения:

- содержание никеля в сплаве до обогащения изменяется от 5 до 15 %;
- содержание никеля в сплаве после обогащения изменяется от 20 до 50 %;
- масса сплава до обогащения составляет 100 кг.

Количество сплава после обогащения определяется из выражения

$$g_{\text{FeNi}}^{\text{K}} = g_{\text{FeNi}}^{\text{H}} \cdot \frac{[\text{Ni}]_{\text{H}}}{[\text{Ni}]_{\text{K}}}, \quad (1)$$

где  $[Ni]_H$  и  $[Ni]_K$  — начальное и конечное содержание никеля в сплаве, %;  $g_{FeNi}^H$  и  $g_{FeNi}^K$  — количество сплава до и после обогащения, кг.

Зависимость количества сплава в конце обогащения от начального и конечного содержания никеля в сплаве представлена на рис. 1.

Из рис. 1 видно, что при увеличении конечного содержания никеля, количество сплава уменьшается, а при увеличении начального содержания никеля — увеличивается.

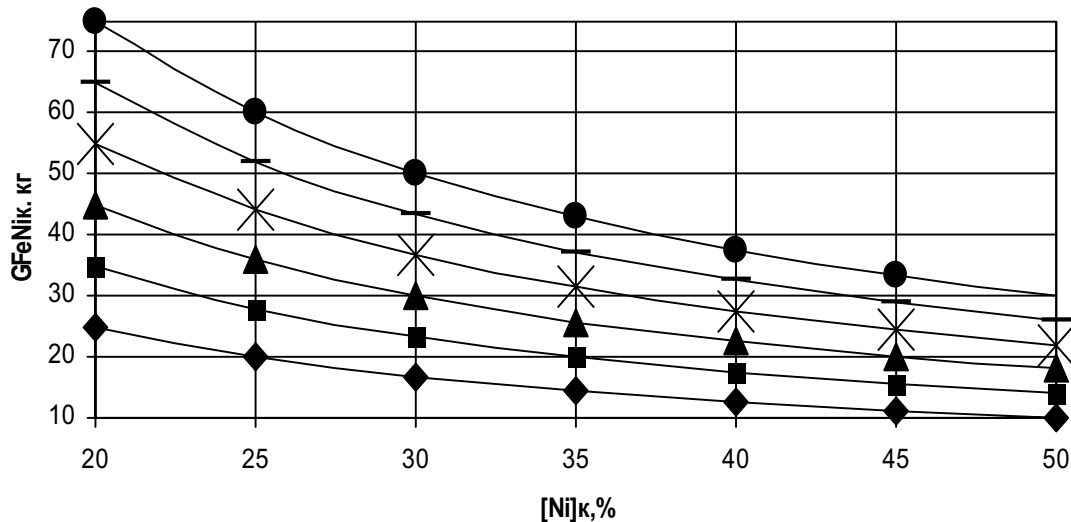


Рис. 1. Зависимость количества ферроникеля в конце обогащения от начального и конечного содержания никеля в сплаве:

—♦— —  $[Ni]_H = 5\%$ ; —■— —  $[Ni]_H = 7\%$ ; —▲— —  $[Ni]_H = 9\%$ ; —x— —  $[Ni]_H = 11\%$ ;  
— — — —  $[Ni]_H = 13\%$ ; —●— —  $[Ni]_H = 15\%$

Следующим важным параметром процесса обогащения ферроникеля является количество окисляемого железа. Основная исходная формула для установления зависимости изменения количества железа, которое необходимо окислить, выглядит следующим образом:

$$\Delta g_{Fe} = g_{FeNi}^H \frac{[Ni]_K - [Ni]_H}{[Ni]_K}, \quad (2)$$

где  $\Delta g_{Fe}$  — количество окисляемого железа, кг.

Графически зависимость количества окисляемого железа от начального и конечного содержания никеля в сплаве представлена на рис. 2.

Из рис. 2 следует, что при увеличении конечного содержания никеля в сплаве количество окисляемого железа увеличивается, а при увеличении начального содержания никеля в сплаве — уменьшается.

Для определения количества расхода кислорода на окисление железа используется формула [2]

$$g_{O_2} = \alpha_{Fe} \Delta g_{Fe}, \quad (3)$$

где  $g_{O_2}$  — расход кислорода на окисление железа, кг;  $\alpha_{Fe}$  — удельный расход кислорода на окисление железа, кг/кг.

Для определения  $\alpha_{Fe}$  принимаем, что все железо окисляется до FeO, тогда  $\alpha_{Fe}$  составит 0,29 кг/кг FeNi.

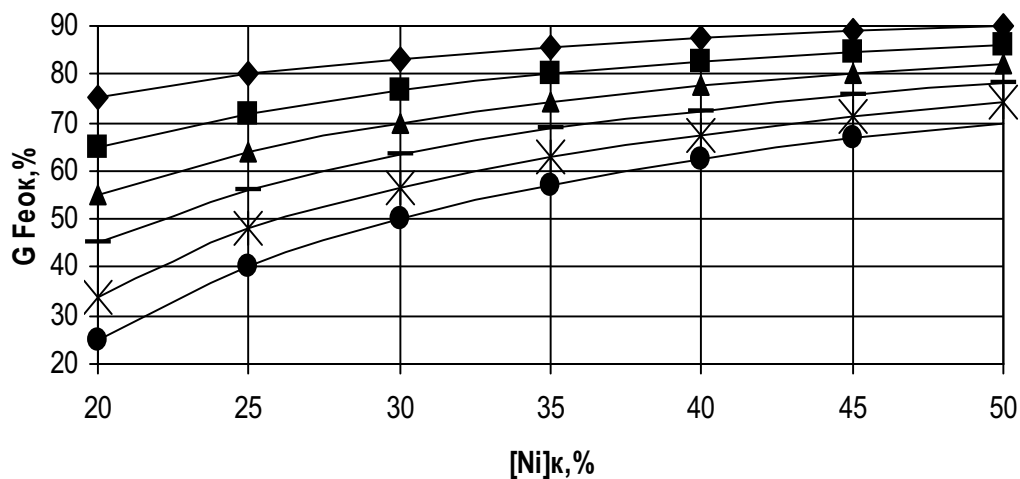


Рис. 2. Зависимость количества окисляемого железа от начального и конечного содержания никеля в сплаве

—◆— — [Ni]н = 5 %; —■— — [Ni]н = 7 %; —▲— — [Ni]н = 9 %; —×— — [Ni]н = 11 %;  
— — — [Ni]н = 13 %; —●— — [Ni]н = 15 %

Зависимость расхода кислорода на окисление железа от начального и конечного содержания никеля в сплаве представлена на рис. 3.

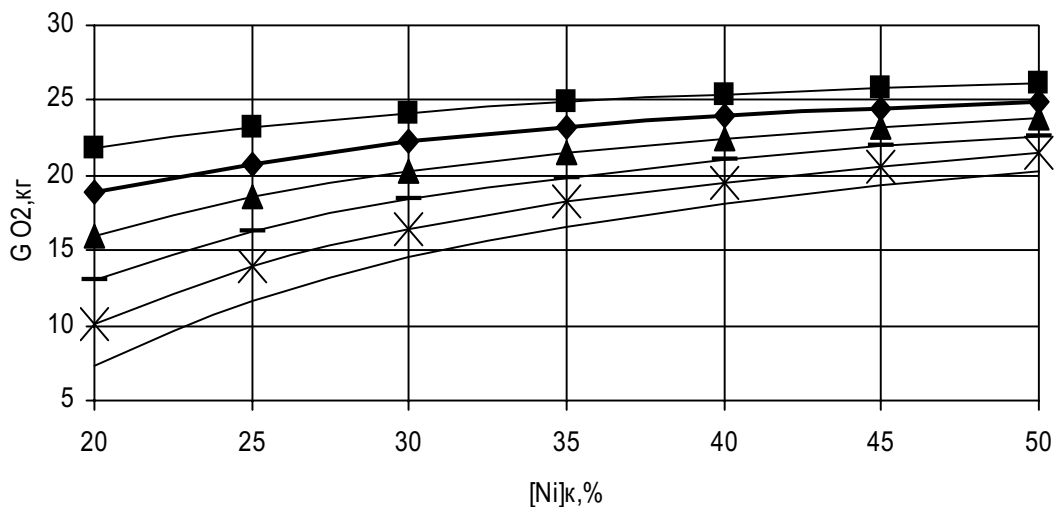


Рис.3. Зависимость расхода кислорода на окисление железа от начального и конечного содержания никеля в сплаве

—◆— — [Ni]н = 5 %; —■— — [Ni]н = 7 %; —▲— — [Ni]н = 9 %; —×— — [Ni]н = 11 %;  
— — — [Ni]н = 13 %; —●— — [Ni]н = 15 %

Из рис. 3 видно, что при увеличении конечного содержания никеля в сплаве, расход кислорода увеличивается, а при увеличении начального содержания никеля в сплаве — уменьшается.

Расход воды на охлаждение ванны рассчитывается по формуле

$$g_{H_2O} = \frac{Q_{\Delta Fe}}{\Delta H_{исп}}, \quad (4)$$

где  $Q_{\Delta Fe}$  — количество тепла, выделяющееся при окислении железа, кДж;  $\Delta H_{исп}$  — тепловой (охлаждающий) эффект испарения влаги, кДж.

В свою очередь, количество тепла, выделяющееся при окислении железа находится из выражения

$$Q_{\Delta Fe} = \Delta g_{Fe} \Delta H_{Fe}^{\Sigma} n, \quad (5)$$

где  $\Delta H_{Fe}^{\Sigma}$  — тепловой эффект окисления железа с образованием FeO, кДж.

Тепловой эффект испарения влаги определяется по формуле

$$\Delta H_{H_2O}^{исп} = 2,72t_m + 1940, \quad (6)$$

где  $t_m$  — температура металла, °С.

Известно, что тепловой эффект окисления Fe до FeO составляет  $\Delta H_{Fe} = 3707$  кДж/кгFe [3]. Температуру ванны принимаем равной 1600 °С. Окончательное выражение для расчета расхода воды на охлаждение ванны принимает вид

$$g_{H_2O} = \frac{3707 ([Ni]_k - [Ni]_n)}{[Ni]_k (2,72 \cdot 1600 + 1940)}, \quad (7)$$

Зависимость расхода воды от начального и конечного содержания никеля в сплаве представлена на рис. 4.

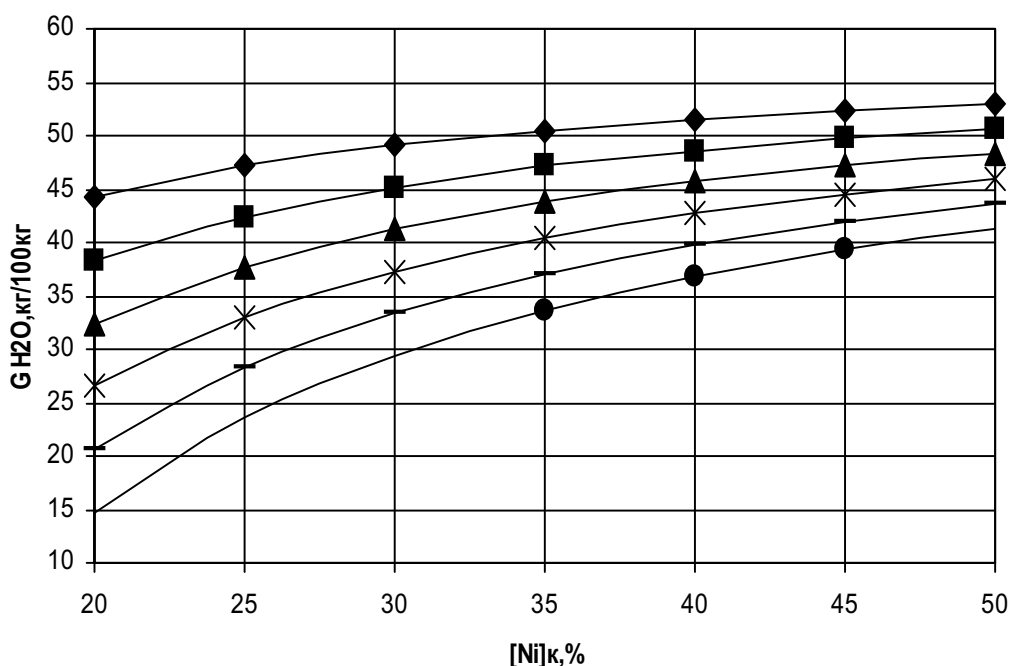


Рис. 4. Зависимость расхода воды от начального и конечного содержания никеля в сплаве

—♦— —  $[Ni]_n = 5\%$ ; —■— —  $[Ni]_n = 7\%$ ; —▲— —  $[Ni]_n = 9\%$ ; —×— —  $[Ni]_n = 11\%$ ;  
— — — —  $[Ni]_n = 13\%$ ; —●— —  $[Ni]_n = 15\%$

Из графика следует, что при увеличении конечного содержания никеля, расход воды на охлаждение ванны растет, а при увеличении начального содержания никеля — падает.

## Заключение

Металлургическое обогащение бедного ферроникеля, полученного из руд Халиловского месторождения может быть успешно осуществлено, если окисление железа ферросплава проводить газообразным кислородом, а для охлаждения ванны жидкого металла использовать воду. Полученный ферроникель может служить ценным компонентом металлошихты при выплавке

легированной никелем стали в любом агрегате, а так же может быть использован для выплавки коррозионностойкой стали методом простого смешения с низкоуглеродистым хромом, содержащим 35...40 % Cr.

### **Список литературы**

1. Заякин О.В. Разработка рационального состава и технологии производства никельсодержащих ферросплавов из бедных окисленных никелевых руд: Автореф. дис. ...канд. техн. наук. Ин-т металлургии Уральского отделения Российской академии наук. Екатеринбург, 2002.
2. Бигеев А.М., Бигеев В.А. Металлургия стали. Магнитогорск: МГТУ, 2000. 545 с.
3. Бигеев А.М. Непрерывные сталеплавильные процессы. М.: Металлургия, 1986. 136 с.