

УДК 669

ВЛИЯНИЕ УНИКАЛЬНЫХ СТРОНЦИЙ-БАРИЕВЫХ-КАЛЬЦИЕВЫХ КАРБОНАТОВ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА ВЫСОКОМАРГАНЦЕВЫХ СТАЛЕЙ

Мусихин А.М.

ОАО ПО «Иркутский завод тяжелого машиностроения», Иркутск, e-mail: maleksey@iztm.com

Представлены влияние щелочноземельных карбонатов на механические свойства высокомарганцевых сталей и характеристика сталей с их добавлением.

Ключевые слова: стронций, барий, кальций, карбонаты, высокомарганцевая сталь

THE EFFECT OF STRONTIUM-BARIUM-CALCIUM CARBONATES ON STRUCTURE AND MECHANICAL PROPERTIES OF HIGH-MANGANESE STEELS

Musikhin A.M.

Irkutsk Basic Engineering Industry Factory, Irkutsk, e-mail: maleksey@iztm.com

The alkaline-earth carbonates effect on mechanical properties high-manganese steels and characteristic of steels with doping of the carbonates are presented.

Keywords: strontium, barium, calcium, carbonates, high-manganese steel

На Крайнем Северо-Востоке Иркутской области открыто единственное в мире месторождение с новым типом комплексных карбонатных стронций-бариевых руд. Руды имеют следующий состав: Sr-Ca-Ba-карбонат (~70...80%), калиевый полевой шпат 10%, пироксен 10...20%. Основной полезный компонент – Sr-Ca-Ba-карбонат (BaO = 32%, Sr = 13%, CaO = 22%, CO₂ = 33%), представленный тонкокристаллическим срастанием кальцита, баритокальцита и стронциата (продукты распада исходного твердого неупорядоченного раствора CaCO₃-BaCO₃-SrCO₃).

На металлургическом производстве использование стронций-кальций-бариевых карбонатов в составе легатур позволяет снизить содержание кислорода в металле [6], что приводит к улучшению качества поверхности отливки. Так, в стали 35Л, выплавленной в индукционных печах и залитой при температуре 1710 °С в сухие формы, дополнительная обработка барием и стронцием снижает содержание кислорода в 1,5–2 раза. При этом отмечаются существенное снижение количества неметаллических включений и благоприятное изменение их формы и расположения. Все это положительно сказывается на механических свойствах и ударной вязкости в широком температурном интервале.

В связи с обнаружением карбонатов была поставлена задача изучить возможность применения стронций-барий-кальциевых карбонатов (природнолегированный минерал) для микролегирования сталей различных классов. Выплавка сталей 110Г13Л, 65Г10Х4ДЛ с обработкой сталей карбонатом производилась в 3-тонной электродуго-

вой печи, а сталь марки 40ХН в 10-тонной электродуговой печи. После окончательного раскисления металла в печи карбонат подавали в виде мелких кусков (30×30 мм) в печь или под струю металла при наполнении ковша емкостью 3 и 10 т. Все модификаторы вводили как расчетные из-за отсутствия методов их определения в металле. Влияние карбонатов на механические свойства высокомарганцевых сталей представлено на рис. 1.

Более подробно изучено влияние карбоната на свойства высокомарганцевой стали 110Г13Л. Карбонат вводили или в ковш, или в печь в период раскисления. От каждой плавки изучали механические свойства от толстых сечений отливок (дражные черпаки, полувтулки 600-литрового черпака и другие детали). Прочностные свойства находятся на уровне $\delta_b = 650...780$ МПа и $\delta_{0.2} = 430...550$ МПа (против стандартных $\delta_b = 600$ МПа и $\delta_{0.2} = 400$ МПа соответственно). Пластические свойства $\delta = 25...30\%$ и $\psi = 25...35\%$ (против $\delta = 20\%$ и $\psi = 20\%$ по обычной технологии). Особенно сильно возрастает ударная вязкость, достигающая 3,0 МДж/м² против 1,8 МДж/м² для стали обычного состава. Дополнительное легирование высокомарганцевой стали с ванадием в комплексе с барием, кальцием и стронцием позволяет резко повысить предел прочности $\delta_b = 900$ МПа против 600 МПа для рядовой стали и $\delta_{0.2} = 600$ МПа против рядовых 450 МПа. Значительно повышаются показатели относительного удлинения (45%), а показатели относительного сжатия остались на прежнем уровне. Ударная вязкость резко возрастает и стабильно находится на уровне 2,80–3,0 МДж/м².

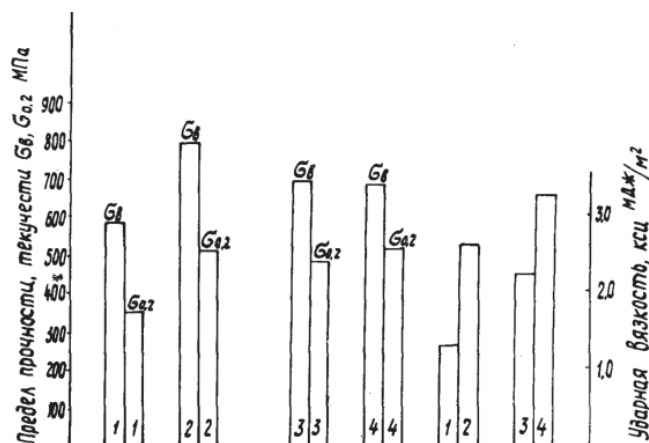


Рис. 1. Влияние стронций-кальций-бариевых карбонатов на механические свойства высокомарганцевых сталей:

1 – сталь 110Г13Л; 2 – сталь 110Г13Л с обработкой Sr-Ca-Ba-карбонатом;
3 – сталь 65Г10Х4ДФЛ; 4 – сталь 65Г10Х4ДФЛ с обработкой Sr-Ca-Ba-карбонатом

Одной из важнейших характеристик склонности материала к хрупкому разрушению является вязкость разрушения, определяющая тот максимально допустимый размер трещины, который материал выдерживает без разрушения [1, 2, 3]. Наибольший интерес для практики представляет оценка скорости роста трещины в период ее установившегося развития. Распространение трещины в этом случае осуществляется скачками. Трещиностойкость при циклическом нагружении в настоящее время определяется параметрами кинетической диаграммы усталостного разрушения (КДУР) [4, 5]. Размах коэффициента интенсивности напряжений для каждого нового цикла $K = K_{\max} - K_{\min}$ (где $K_{\max}$ и $K_{\min}$ наибольшее и наименьшее значение коэффициента интенсивности напряжений). Скорость распространения трещины (V) и размах коэффициента интенсивности напряжений для построения КДУР определяли по следующим формулам:

$$\sum_{i=p-2}^{i=p+2} N_p \cdot l_p - 5 \bar{N}_i \cdot \bar{l}_i; \quad (1.1)$$

$$\sum_{p=i-2}^{p=i+2} N_p^2 - 5 \bar{N}_i^2; \quad (1.2)$$

$$\bar{N}_i = \sum_{p=i-2}^{p=i+2} N_p; \quad (1.3)$$

$$\bar{l}_i = \frac{1}{5} \sum_{p=i-2}^{p=i+2} l_p, \quad (1.4)$$

где $\bar{N}_i$ – число циклов нагружения, $\bar{l}_i$ – длина трещины.

$$\Delta K = \frac{6 \Delta M Y}{t \sqrt{B^3}} \sqrt{\lambda}; \quad (1.5)$$

$$Y = 1,93 - 3,07 + 14,53 \lambda^2 - 25,11 \lambda^3 + 25,80 \lambda^4; \quad (1.6)$$

$$\lambda = \frac{t}{B},$$

где ΔM – изменение момента, действующего на образец за цикл; t – толщина образца (3 мм); B – ширина образца (25 мм).

Все расчеты производились с использованием электронно-вычислительной машины. Параметры уравнений (1.1) и (1.2) оценивались по методу наименьших квадратов. Масштаб КДУР (рис. 2): единичный интервал по оси абсцисс ($\lg \Delta K$) – 130 мм, по оси ординат ($\lg V$) – 30 мм.

Таким образом, показана возможность применения кальциево-бариево-стронциевого карбоната при выплавке высокомарганцевых сталей. Термодинамическими расчетами доказано, что карбонаты бария и стронция легко восстанавливаются кремнием и алюминием при обычных их содержаниях (0,1–1,0 % Si; 0,01–0,03 % Al), а присутствующая известь может участвовать в ошлаковании Al_2O_3 и SiO_2 .

Четко прослеживается положительное влияние кальциево-бариево-стронциевого карбоната на комплекс структурно-чувствительных свойств аустенитных и метастабильных высокомарганцевых сталей. Влияние карбоната проявляется в комплексном воздействии кальция, бария и стронция на снижение отрицательной роли вредных примесей, повышает механические свойства, трещиностойкость в литейном производстве и в сочетании с комплексным легированием в целом улучшает износостойкость стали.

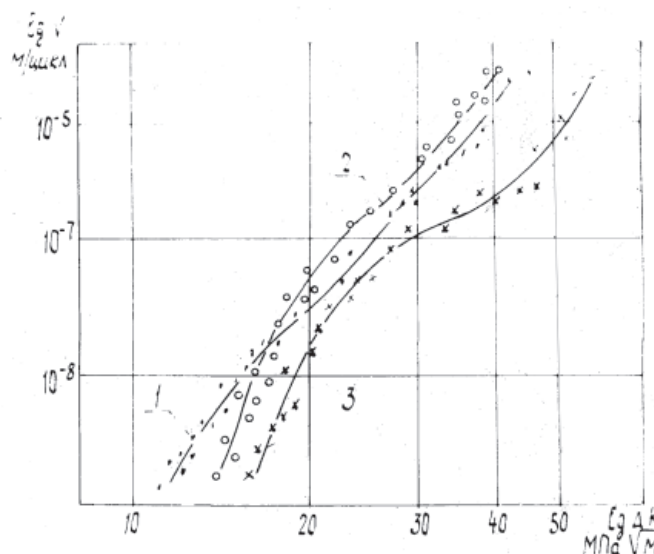


Рис. 2. Кинематические диаграммы усталостного разрушения высокомарганцевых сталей: 1 – 110Г13Л, 2 – 65Г10Х4Л, 3 – 65Г10Х4ДБЛ. Термическая обработка – закалка в воде от температуры 1050°C (сталь 110Г13Л), 1150°C (стали 65Г10Х4Л, 65Г10Х4ДБЛ)

Использование метода микрорентгеноспектрального анализа помогло исследованию характера распределения легирующих элементов в стали и предоставило возможность устранения химической неоднородности за счет термической обработки.

Отмечено, что в активном слое поверхности изнашивания, по данным рентгеновского анализа, уменьшаются размеры областей когерентного рассеивания, увеличивается плотность дислокаций и микродеформация, что также показывает улучшение механических свойств стали.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Биронт В.С., Заиграйкина Б.С. Роль фазовых взаимодействий и ТЦО сплавов. Материалы к конф. ТЦО металлических изделий. – Л.: 1982. Наука. – 178 с.
2. Гольдштейн М.И., Грачев С.В., Векслер Ю.Г. Специальные стали. – М.: Металлургия, 1985. – 408 с.
3. Гудков А.А. Трещиностойкость стали. – М.: Металлургия, 1989. – 376 с.
4. РД 50-345-82. Методические указания. Расчеты и испытания на прочность. Методы механических испытаний металлов. Определения характеристик вязкости разрушения. Трещиностойкость при циклическом нагружении. – М.: Изд-во стандартов, 1982. – 46 с.
5. Тушинский Л.И., Плохов А.В. Исследование структуры и физико-механических свойств покрытий. – Новосибирск: Наука, 1986. – 200 с.
6. Ярковой В.К., Горяев С.Г., Ленев В.В. Применение лигатур со щелочноземельными металлами для повышения механических свойств литых сталей // Изв. вузов. – Черная металлургия, 1970. – №8. – С. 139–142.