

## ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТНОГО НАУГЛЕРОЖИВАНИЯ НА ОТЛИВКАХ ИЗ СТАЛИ 10X18H9Л

Поверхностное науглероживание отливок из нержавеющей сталей крайне нежелательно из-за того, что скорость коррозии прогрессивно возрастает с увеличением содержания углерода. Поэтому прогнозирование степени науглероживания таких отливок при их изготовлении в литейных формах с высоким науглероживающим потенциалом крайне актуально для обеспечения их качественных показателей.

В работе изучали возможность прогнозирования поверхностного науглероживания отливок из стали 10X18H9Л при их изготовлении в формах из песчано-смоляных смесей. Такие формы обладают высокой науглероживающей способностью вследствие деструкции связующих материалов и формирования на контактной границе «металл-форма» газовой среды, состоящей из  $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{CO}_2$  и др. При этом процесс поверхностного науглероживания отливки является следствием протекания реакции:



Из выражения константы равновесия реакции (1) получили зависимость показателя науглероживания отливки  $[\text{C}]_{\text{max}}$  от параметра газовой среды литейных форм  $N_{\text{C}}$ :

$$[\text{C}]_{\text{max}} = \varepsilon \cdot [\text{C}] = \varepsilon \cdot \beta_{\text{C}} \cdot N_{\text{C}} = \eta \cdot N_{\text{C}}, \quad (2)$$

где  $[\text{C}]_{\text{max}}$  и  $[\text{C}]$  – фактическое и теоретически обусловленное содержание углерода в наружном слое отливки, %;

$\varepsilon$  – коэффициент, отражающий степень отклонения реальных условий науглероживания от равновесных,  $\varepsilon \leq 1$ ;

$\beta_{\text{C}}$  – коэффициент, зависящий от термодинамических параметров,  $\beta_{\text{C}} = \sqrt{[K_{\text{P}}/(f_{\text{C}})^2]}$ ;

$K_{\text{P}}$  и  $f_{\text{C}}$  – константа равновесия реакции (1) и коэффициент активности углерода;

$N_{\text{C}}$  – коэффициент науглероживающей способности газовой среды на контактной границе «металл-форма»

$$N_{\text{C}} = \sqrt{\{[(P_{\text{CO}})^2 \cdot (P_{\text{CH}_4})]/[(P_{\text{CO}_2}) \cdot (P_{\text{H}_2})^2]\}} = \sqrt{\{[(\text{CO})^2 \cdot (\text{CH}_4)]/[(\text{CO}_2) \cdot (\text{H}_2)^2]\}}, \quad (3)$$

$P_{\text{CO}}$ ,  $P_{\text{CO}_2}$ ,  $P_{\text{CH}_4}$  и  $P_{\text{H}_2}$  – парциальные давления соответствующих газов, Па;

%  $\text{CO}$ , %  $\text{CO}_2$ , %  $\text{CH}_4$  и %  $\text{H}_2$  – объемные содержания соответствующих газов, %;

$\eta$  – коэффициент пропорциональности.

Согласно (2) значение  $[C]_{\max}$  изменяется прямо пропорционально величине  $N_C$ . При литье стали 10X18H9Л в формы из песчано-смоляных смесей зависимость (2) описывается уравнением:

$$[\%C]_{\max} = 1,39 \cdot 10^{-4} \cdot N_C. \quad (4)$$

По соотношению (4) выполнили прогноз поверхностного науглероживания отливок из стали 10X18H9Л при различном исходном содержании в ней углерода  $C_0$ . При этом использовали значения параметра  $N_C = N_{C,ф}$ , установленные в работе [1]. Результаты прогнозирования для варианта литья стали с  $C_0 = 0,04 \%$  представлена в табл. 1.

Таблица 1

Прогнозируемые и экспериментальные значения  $[\%C]_{\max}$

№ п/п	Вариант песчано-смоляной формы	Содержание углерода $[\%C]_{\max}$ , %		
		$N_{C,ф}$	Прогноз по (4)	Эксперимент
1	БС-40	750	0,104	0,12
2	ВРБ	790	0,110	0,11
3	ОФ-1	1300	0,180	0,20
4	ПК-104	1715	0,238	0,24
6	ФФ-1СМ	1800	0,250	0,23

Как видно, рассчитанные значения  $[\%C]_{\max}$  совпадают с данными, полученными экспериментально, или мало отличаются от них.

Соотношение (4) позволяет определить критическое значение параметра  $N_{C,кр}$ , при котором отсутствует как науглероживание, так и обезуглероживание отливок :

$$N_{C,кр} = C_0 / (1,39 \cdot 10^{-4}). \quad (5)$$

Ниже приведены критические значения  $N_{C,кр}$  при  $C_0 = 0,04 - 0,14 \%$ :

$C_0, \%$ :	0,04	0,07	0,10	0,12	0,14
$N_{C,кр}$ :	290	504	720	863	1007

С использованием соотношений (4) и (5) выполнили прогноз поверхностного науглероживания отливок из стали 10X18H9Л при различном исходном содержании в ней углерода. Ожидаемое изменение содержания углерода  $\Delta C$  пропорционально разности  $(N_{C,ф} - N_{C,кр})$ :

$$\Delta C = 1,39 \cdot 10^{-4} \cdot (N_{C,ф} - N_{C,кр}). \quad (6)$$

Результаты выполненных расчетов, приведенные в табл. 2.

Таблица 2

Прогнозируемые значения  $[\%C]_{\max}$  и  $\Delta C$ 

№ п/п	Связующее литейной формы	N <sub>с</sub> , Ф	Значения $\Delta C$ , %, при исходном содержании углерода в стали $C_0$ , %				
			0,04	0,07	0,10	0,12	0,14
1	БС-40	750	+ 0,064	+ 0,034	+ 0,004	- 0,016	- 0,036
2	ВРБ	790	+ 0,070	+ 0,040	+ 0,010	- 0,010	- 0,030
3	ОФ-1	130 0	+ 0,140	+ 0,111	+ 0,081	+ 0,061	+ 0,041
4	ПК-104	171 5	+ 0,198	+ 0,168	+ 0,138	+ 0,118	+ 0,098
5	ФФ-1СМ	180 0	+ 0,210	+ 0,180	+ 0,150	+ 0,130	+ 0,110

Согласно данным табл. 2, с повышением исходного содержания углерода  $C_0$  поверхностное науглероживание ослабевает. В формах из смесей со связующими БС-40 и ВРБ прирост содержания углерода в поверхностном слое, составляющий 0,06–0,07 % при  $C_0 = 0,04$  %, снижается до  $\Delta C = 0,00 - 0,01$  % при  $C_0 = 0,10$  %. А при большем содержании углерода (0,12 %) должно реализоваться поверхностное обезуглероживание, однако, как показано ранее [1], при литье высокохромистой стали процесс поверхностного обезуглероживания не реализуется из-за образования защитной пленки оксида хрома.

В формах из смесей со связующими ОФ-1, ПК-104 и ФФ-1СМ прогнозируется существенный прирост содержания углерода в поверхностном слое отливок. Оно достигает 0,11–0,21 % при низком и относительно низком исходном содержании углерода в стали ( $C_0 = 0,04$  и 0,07 %) и остается значимым (0,06–0,15 %) при увеличении  $C_0$  до 0,10–0,12 %.

Таким образом, на примере оценки приповерхностной неоднородности на отливках из стали 10Х18Н9Л, полученных в формах из песчано-смоляных смесей, показано, что предложенная методика обеспечивает достаточно адекватное прогнозирование поверхностного науглероживания.

## Список использованных источников

1. Тен Э. Б., Коль О.А., Бадмажапова И.Б., Ключев М.П. Оценка и прогнозирование поверхностного науглероживания стальных отливок // Известия вузов «Черная металлургия». 2011. № 1. С. 37–40.