

## ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ГЛУБОКОГО ОБЕЗУГЛЕРОЖИВАНИЯ СТАЛИ

*Уразбаев Т.Т., старший преподаватель  
кафедры «Материаловедение и машиностроение»  
Ташкентский Государственный Транспортный Университет*

*Турсунов Т.М., старший преподаватель  
кафедры «Материаловедение и машиностроение»  
Ташкентский Государственный Транспортный Университет*

*Турсунов Ш.Э., старший преподаватель  
кафедры «Материаловедение и машиностроение»  
Ташкентский Государственный Транспортный Университет*

*Кенжаев С.Н., ассистент  
кафедры «Материаловедение и машиностроение»  
Ташкентский Государственный Транспортный Университет*

*Валиева Д.Ш., ассистент  
кафедры «Материаловедение и машиностроение»  
Ташкентский Государственный Транспортный Университет*  
*Мирадуллаева Г.Б., PhD, доцент кафедры «Материаловедения и  
машиностроения» Ташкентский Государственный Транспортный  
Университет Узбекистан, г. Ташкент*

**Аннотация.** В данной работе выполнены сложные термодинамические расчеты глубокого обезуглероживания расплава в системе Fe – C – O и оценены пределы окисления углерода в этой системе. А также проводится детальный анализ технологических процессов глубокого обезуглероживания легированных расплавов на основе термодинамических и кинетических расчетов системы Fe-Cr-Ni-Mn -Si-C -O.

**Ключевые слова:** сталь, обезуглероживания, коэффициентов активности, углерод, кислород.

**Abstract.** In this work, complex thermodynamic calculations of deep melt decarburization in the Fe – C – O system are performed and the limits of carbon oxidation in this system are estimated. A detailed analysis of the technological processes of deep decarburization of alloyed melts is also carried out on the basis of thermodynamic and kinetic calculations of the Fe-Cr-Ni-Mn -Si-C -O system.

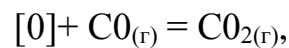
**Keywords:** steel, decarburization, activity coefficients, carbon, oxygen.

В связи с возрастающими потребностями производства особо низкоуглеродистой стали возникла необходимость более подробного изучения растворов углерода и кислорода в жидком железе при низкой концентрации углерода, закономерностей обезуглероживания и оценки термодинамических пределов окисления углерода, растворенного в жидком железе.

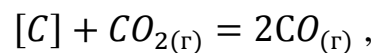
В расчетах рекомендовано использовать следующие уравнения:



$$K_1 = \frac{P_{CO}}{a_c \cdot a_o}, \quad \lg K_1 = \frac{1160}{T} + 2,003; \quad (1)$$



$$K_2 = \frac{P_{CO_2}}{P_{CO} \cdot a_o}, \quad \lg K_2 = \frac{8718}{T} - 4,762; \quad (2)$$



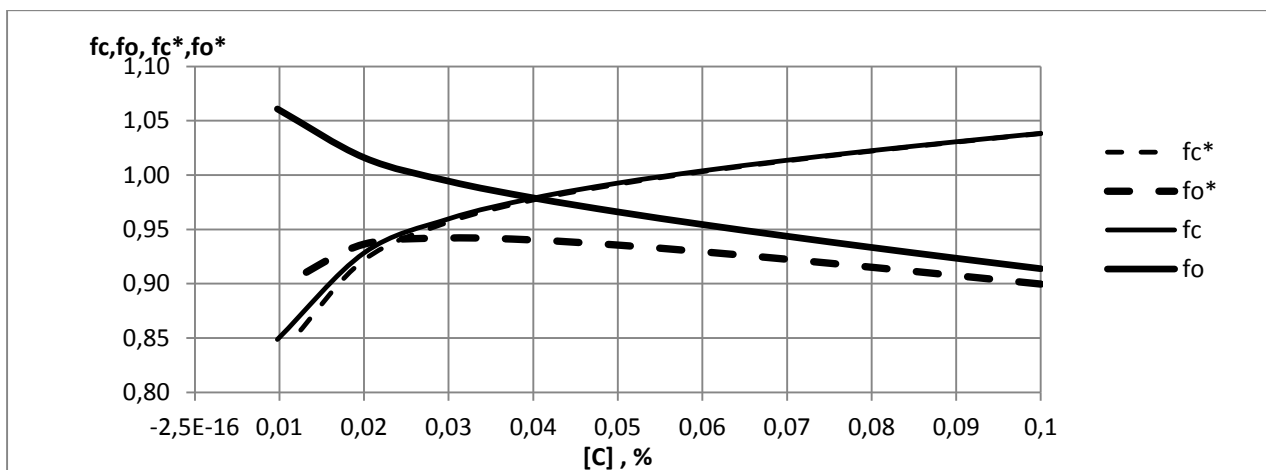
$$K_3 = \frac{P_{CO}^2}{P_{CO_2} \cdot a_c}, \quad \lg K_3 = -\frac{7558}{T} + 6,765; \quad (3)$$

и массовые параметры взаимодействия углерода и кислорода в железе при температуре 1600 °C  $e_c^c = 0,243$ ,  $e_o^o = 0,13$ ,  $e_c^o = -0,32$ ,  $e_o^c = -0,421$ .

Таблица 1 – Результаты термодинамических расчетов реакций обезуглероживание стали при температуре 1600 °C

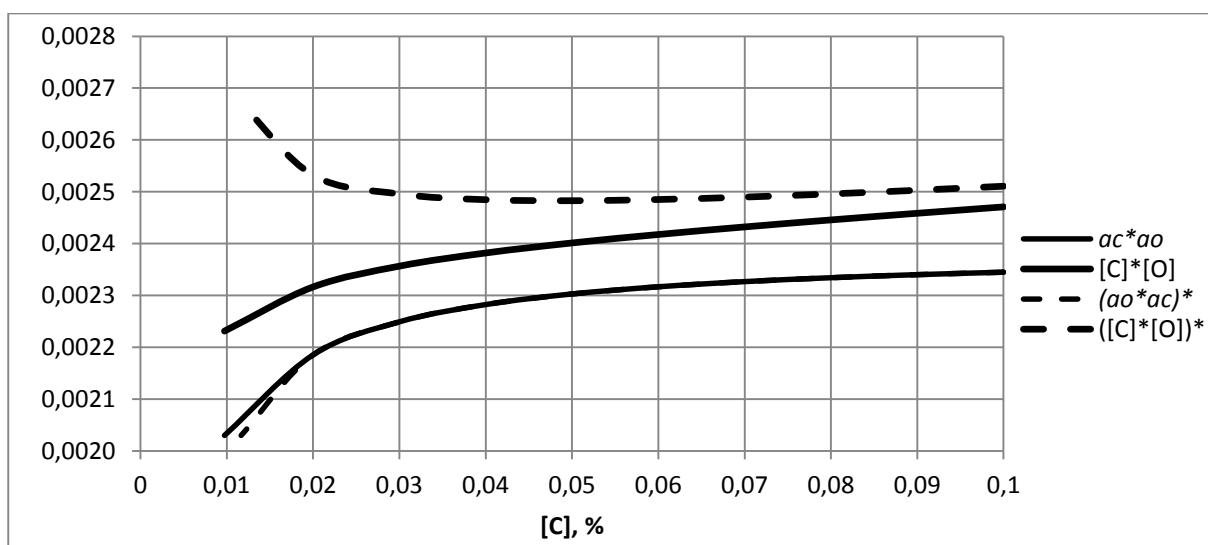
[C],%	[O],%	$a_c$	$a_o$	$f_c$	$f_o$	$f_c \cdot f_o$	$P_{CO}$	$[C] \cdot [O]$	$a_c \cdot a_o$
0,1	0,0247	0,1038	0,0226	1,038	0,914	0,9489	0,983	0,00247	0,00234
0,09	0,0273	0,0928	0,0252	1,031	0,923	0,9518	0,981	0,00246	0,00234
0,08	0,0306	0,0818	0,0285	1,023	0,933	0,9543	0,978	0,00245	0,00233
0,07	0,0347	0,0710	0,0328	1,014	0,944	0,9565	0,975	0,00243	0,00233
0,06	0,0403	0,0602	0,0385	1,004	0,954	0,9582	0,971	0,002418	0,00232

0,05	0,0480	0,0496	0,0464	0,993	0,966	<b>0,9589</b>	0,965	0,00240	0,00230
0,04	0,0595	0,0392	0,0583	0,979	0,979	0,9581	0,956	0,002382	0,00228
0,03	0,0786	0,0288	0,0781	0,960	0,994	0,9543	0,943	0,00236	0,00225
0,02	0,116	0,0186	0,1177	0,928	1,016	0,9432	0,916	0,00232	0,00218
<b>0,0097</b>	0,2290	0,00835	0,2429	0,849	1,061	0,9003	<b>0,842</b>	0,00223	0,00203



сплошная линия:  $e_o^o = 0,13$ ; пунктирная линия:  $e_o^o = -0,17$

Рис. 1. Изменение коэффициентов активности углерода и кислорода, растворенных в жидком железе при температуре 1600 °С, в зависимости от концентрации углерода

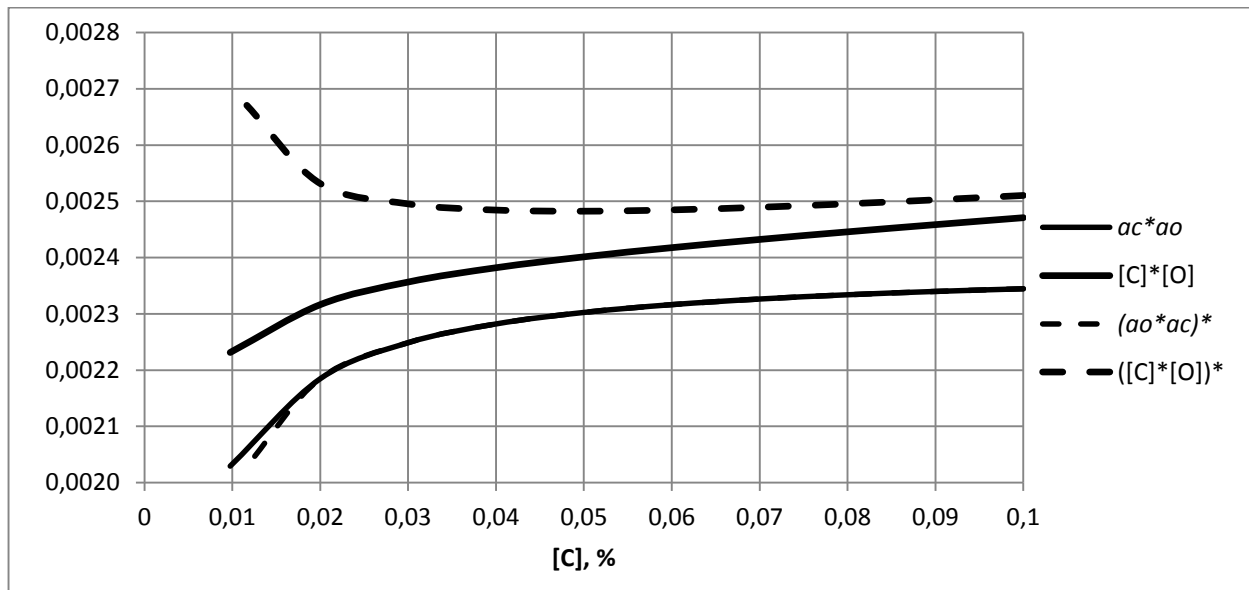


сплошная линия:  $e_o^o = 0,13$ ; пунктирная линия:  $e_o^o = -0,17$

Рис. 2. Изменение входящих в константу равновесия реакции обезуглероживания величин  $a_c \cdot a_o$ ,  $[C] \cdot [O]$  в зависимости от концентрации углерода

Произведение равновесных активностей и концентраций углерода и кислорода определили из константы равновесия реакции.

$$a_c \cdot a_o = \frac{P_{CO}}{K_1}, \quad [C] \cdot [O] = \frac{P_{CO}}{K_1 \cdot f_c \cdot f_o} \quad (4)$$



сплошная линия:  $e_o^o = 0,13$ ; пунктирная линия:  $e_o^o = -0,17$

Рисунок 3 – Изменение входящих в константу равновесия реакции обезуглероживания величин  $a_c \cdot a_o$ ,  $[C] \cdot [O]$  в зависимости от концентрации углерода

Константа равновесия – постоянная величина при постоянной температуре. Понижение  $P_{CO}$  при глубоком обезуглероживании приводит к пропорциональному уменьшению произведения активностей  $a_c \cdot a_o$  (рис. 3).

Произведение концентраций углерода и кислорода также как и произведение их активностей уменьшается пропорционально понижению  $P_{CO}$ . В то же время произведение концентраций обратно пропорционально

произведению коэффициентов активностей, которое также зависит от концентрации углерода.

## Заключение

При концентрации углерода  $[C] > 0,057 \%$  его коэффициент активности больше единицы. При концентрации углерода менее  $0,057 \%$  под влиянием растворенного кислорода коэффициент активности углерода становится меньше единицы, активность углерода — меньше концентрации.

Расчеты показывают, что при  $0,026 \%$   $C$  коэффициент активности кислорода равен единице. При  $[C] > 0,026 \%$   $C$  под влиянием кислорода  $f_o < 1$  и активность кислорода меньше его концентрации. При  $[C] < 0,026 \%$   $C$  под влиянием кислорода  $f_o > 1$  и активность кислорода больше его концентрации.

Произведение коэффициентов активности углерода и кислорода изменяется с изменением состава раствора и имеет максимум  $(f_c \cdot f_o)_{max} = 0,9589$  при  $0,05 \%$   $C$ .

Рассчитана минимальная равновесная концентрация углерода, соответствующая растворимости кислорода в жидком железе, которую можно назвать термодинамическим пределом обезуглероживания стали. При температуре  $1600 \text{ }^\circ\text{C}$  это предел равен  $[C]_{min} = 0,0097 \%$ .

### Использованные источники:

1. Падерин С. Н., Падерина Е. Н. Термодинамика и расчеты процесса глубокого обезуглероживания стали // Электрометаллургия. – 2005. – №10 – С. 19-24
2. Турсунов Н.К., Уразбаев Т.Т. Турсунов Т.М. Методика расчета комплексного раскисления стали марки 20ГЛ с алюминием и кальцием // Universum: технические науки: электрон. научн. журн. 2022. 2(95).