

## ФЕНОЛОФОРМАЛЬДЕГИДНЫЕ СМОЛЫ СЕРИИ «PF» ДЛЯ ПЛАКИРОВАННЫХ СМЕСЕЙ (CRONING-ПРОЦЕСС)

© ООО «Огнеупор-Комплект-НТ»

Смолы серии «PF» выпускается по английской рецептуре и технологии, обладают следующими особенностями:

- ➔ отличной текучестью;
- ➔ низкой массовой долей свободного фенола, что улучшает условия труда и уменьшает загрязнение окружающей среды;
- ➔ смеси обладают высокой прочностью, что позволяет снизить количество добавок смолы и соответственно снизить себестоимость и повысить качество;
- ➔ с помощью специальных рецептур можно улучшить стойкость смесей к высоким температурам.

### Область применения

Используются в производстве лакированных смесей для отливок из чугуна, стали и цветных сплавов, а также могут применяться для цирконового песка.

### Тип и спецификация

вид	Массовая доля свободного фенола, %	Текучесть, мм	Скорость конденсации при t 150°C, с*	Температура каплепадения, °C	Тип
PF-1102	не более 3,5	45-75	35-43	85-95	Общего назначения
PF-1102B	не более 3,5	30-60	35-43	95-105	
PF-1350	не более 3,5	40-75	28-34	85-93	Быстро твердеющая
PF-1352	не более 3,5	25-55	28-34	90-100	
PF-1353	не более 3,5	30-55	22-30	90-100	Для цирконового песка
PF-1350H	3,0-6,0	не менее 45	25-35	85-95	Быстро твердеющая
PF-1901	не более 2,0	не менее 45	50-70	85-96	Повышенной прочности
PF-1902	не более 1,5	не менее 40	45-70	95-102	
PF-1903	не более 2,0	не менее 100	75-100	80-90	
PF-1904	не более 2,0	не менее 65	55-75	80-90	
PF-1829	не более 3,0	не менее 40	30-60	не менее 88	

\*- справочный показатель

Использованы материалы:  
<http://ogk-nt.ru/>



## ПРИКЛАДНЫЕ НАУЧНЫЕ РАЗРАБОТКИ

УДК 669.18(073)

### ОБ ЭФФЕКТИВНОСТИ КОМПЛЕКСНОГО РАСКИСЛЕНИЯ СТАЛИ

**Шульга Виктор Олегович**

Аспирант, кафедра металлургии цветных металлов,  
 Запорожская государственная инженерная академия,  
 пр. Ленина, 226, г. Запорожье, Украина, 69006  
 Контактный тел.: 067-915-33-95  
 E-mail: shulga-victor@mail.ru

**Червонный Иван Федорович**, доктор технических наук, профессор  
 заведующий кафедрой металлургии цветных металлов,  
 Запорожская государственная инженерная академия,  
 пр. Ленина, 226, г. Запорожье, Украина, 69006  
 Контактный тел.: 050-637-01-21  
 E-mail: rot44@yandex.ru

**Егоров Сергей Геннадиевич**, кандидат технических наук, доцент  
 кафедра металлургии цветных металлов,  
 Запорожская государственная инженерная академия,  
 пр. Ленина, 226, г. Запорожье, Украина, 69006  
 Контактный тел.: 099-235-91-86  
 E-mail: egrv@rambler.ru

**Грицай Владимир Петрович**, кандидат технических наук

Старший научный сотрудник, заведующий кафедрой механического оборудования металлургических предприятий, Запорожская государственная инженерная академия,  
пр. Ленина, 226, г. Запорожье, Украина, 69006

Контактный тел.: 050-322-70-62

E-mail: rot44@yandex.ru

**Казачков Олег Игоревич**, кандидат технических наук, доцент  
кафедра металлургии черных металлов,

Запорожская государственная инженерная академия,  
пр. Ленина, 226, г. Запорожье, Украина, 69006

E-mail: rot44@yandex.ru

*Викладені результати термодинамічного аналізу процесу розкислювання сталі. Застосування розкислювачів на основі металів з урахуванням їх спорідненості до кисню забезпечує видалення кисню. Для випробування можливості підвищення ефективності розкислювання був виконаний фізико-хімічний аналіз комбінацій металів і їх взаємодії з розчином в розплаві киснем.*

*Ключові слова: сталь, розкислювання, фізико-хімічний аналіз, кисень, спорідненість до кисню, рівновага хімічних реакцій.*

*Изложены результаты термодинамического анализа процесса раскисления стали. Применение раскислителей на основе металлов с учетом их сродства к кислороду обеспечивает удаление кислорода. Для опробования возможности повышения эффективности раскисления был выполнен физико-химический анализ комбинаций металлов и их взаимодействия с растворенным в расплаве кислородом.*

*Ключевые слова: сталь, раскисление, физико-химический анализ, кислород, сродство к кислороду, равновесие химических реакций.*

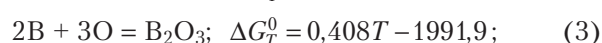
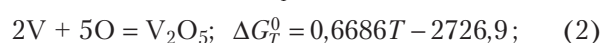
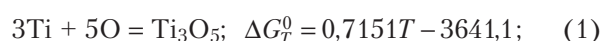
## 1. Введение

Механические свойства стали чувствительны к изменению природы, размера и распределения неметаллических включений. Образование облачных скоплений неметаллических включений в литой стали влечет за собой появление при деформации их строчечных скоплений, способствующих образованию дефектов деформированной стали и анизотропию механических свойств.

Очищение металла от неметаллических включений является одной из ключевых задач при производстве коррозионностойких сталей. Известно несколько способов удаления неметаллических включений: физический; химический и физико-химический.

Наиболее эффективным, с точки зрения уменьшения вредного влияния неметаллических включений на качественные характеристики стали, в настоящее время является физико-химический способ. В его основе лежит превращение нежелательных неметаллических включений посредством раскисления и модификации в комплексные соединения правильной формы, способные не только относительно легко удаляться из металла, но и, оставаясь в нем, не оказывать критического влияния на качество металла.

При производстве стали, для повышения качества готового металла, применяется процесс раскисления, который обеспечивает снижение в стали содержания кислорода [1]. В качестве раскислителей используются металлические добавки, сродство которых к кислороду выше, чем сродство железа к кислороду. В соответствии с [2] химическое сродство элементов к кислороду, в сравнении с железом, расположено в следующем порядке Be, Ca, Zr, Mg, Al, Ti, C, Si, V, B, Mn, Cr, Fe, W, Mo, Co, Ni, Cu, As. Такая последовательность прослеживается при температуре 1600 °С (1873 К). Металлические добавки связывают кислород, который находится в расплаве, с образованием соответствующих окислов в виде MeO или в виде Me<sub>x</sub>O<sub>y</sub>. При анализе термодинамического потенциала образования окислов приведенного ряда металлов, наилучшие показатели выявились у титана, ванадия, алюминия и бора, которые образуют соответствующие окислы, реакции (1)–(4), а характер изменения энергии Гиббса этих реакций приведены на рис. 1 [3].



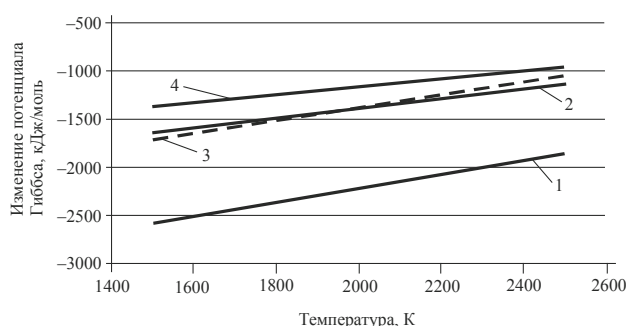
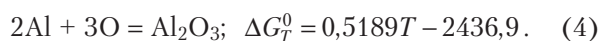


Рис. 1. Изменение потенциала Гиббса реакций раскисления стали при использовании различных металлов (номера на графике соответствуют номерам реакций по тексту статьи)

Подобные результаты приведены в более ранних работах [4, 5]. Несколько отличающиеся термодинамические характеристики раскисления металлическими добавками характеризуются различием методик физико-химических исследований.

В настоящее время в практике проведения раскисления расплава железа широко используется применение комплексных раскислителей — сочетание двух и более металлических добавок [6].

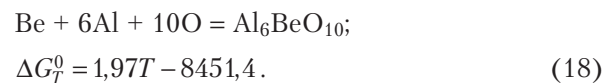
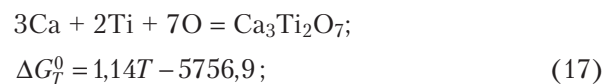
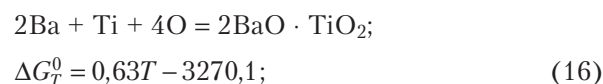
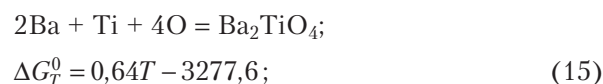
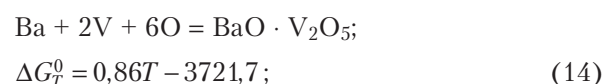
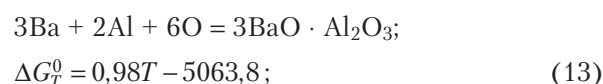
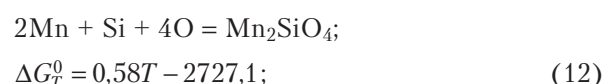
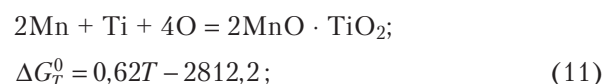
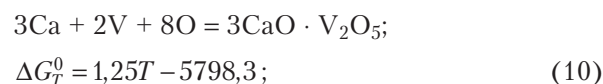
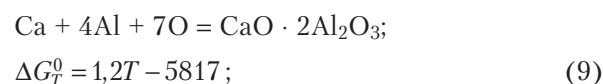
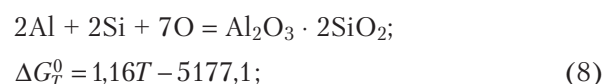
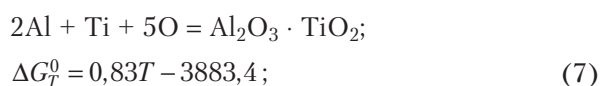
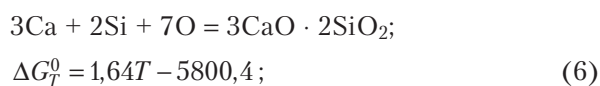
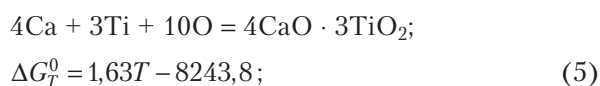
## 2. Цель исследования

Целью настоящих исследований являлось проведение термодинамического анализа процесса комплексного раскисления нержавеющей стали в диапазоне температур от 1500 до 2500 К.

## 3. Выполнение исследований и обсуждение результатов

В последнее время широкое распространение получили процессы с применением технологии комплексного раскисления расплава [7]. Технология комплексного раскисления предусматривает последовательное проведение раскисления расплава двумя и более раскислителями [6, 8, 9].

Для выполнения физико-химического анализа использовали сочетание металлических добавок, исходя из установленного в работе [1] ряда раскислительной способности: Ti, V, Al, B, Cr, Zr, Mn, Si, Ca, Be, Mg, а также и других сочетаний.



На рис. 2 приведены результаты расчета изменения потенциала Гиббса для наиболее характерных реакций, с точки зрения эффективности взаимодействия с кислородом.

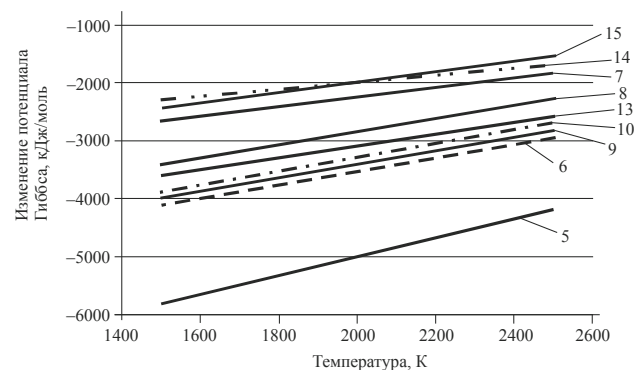
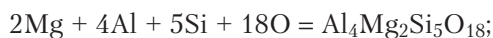


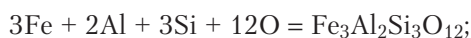
Рис. 2. Изменение потенциала Гиббса реакций раскисления стали при использовании в качестве комплексных раскислителей комбинации из двух металлов (номера на графике соответствуют номерам реакций по тексту статьи)

Как видно из рис. 2, очистки расплава от кислорода протекает более интенсивно при использовании комплексных раскислителей на основе кальция с титаном, кремнием, алюминием и ванадием. Достаточно эффективными являются комплексные раскислители на основе алюминия с кремнием и барием. Реакции (8) и (13). При этом прослеживается отличительная особенность повышения эффективности комплекса на основе металла с более слабым сродством к кислороду с металлов с более сильным сродством к кислороду из ряда сродства, предложенного в работе [2].

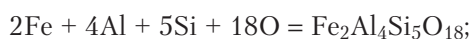
Следующим этапом исследования являлось использование комплексных раскислителей, составленных из трех и более элементов. Были выбраны группировки элементов, представленные реакциями (19)...(30).



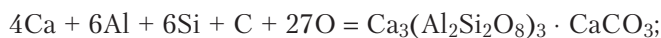
$$\Delta G_T^0 = 2,98T - 13875; \quad (19)$$



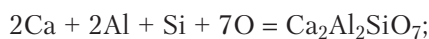
$$\Delta G_T^0 = 1,96T - 8462,8; \quad (20)$$



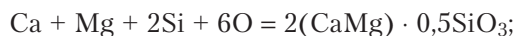
$$\Delta G_T^0 = 3,13T - 13482; \quad (21)$$



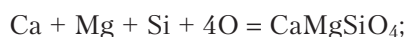
$$\Delta G_T^0 = 4,95T - 21504; \quad (22)$$



$$\Delta G_T^0 = -0,49T - 4272,7; \quad (23)$$



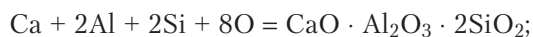
$$\Delta G_T^0 = 1,07T - 4816,4; \quad (24)$$



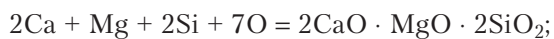
$$\Delta G_T^0 = 0,69T - 3310,9; \quad (25)$$



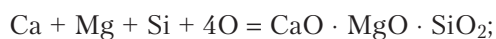
$$\Delta G_T^0 = 0,75T - 3789,7; \quad (26)$$



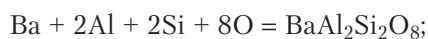
$$\Delta G_T^0 = 1,29T - 6263,7; \quad (27)$$



$$\Delta G_T^0 = 1,18T - 5736,2; \quad (28)$$



$$\Delta G_T^0 = 0,68T - 3311,1; \quad (29)$$



$$\Delta G_T^0 = 1,31T - 6334,2. \quad (30)$$

На рис. 3 приведены результаты расчета изменения потенциала Гиббса для наиболее характерных реакций комплексного раскисления, с точки зрения эффективности взаимодействия с кислородом.

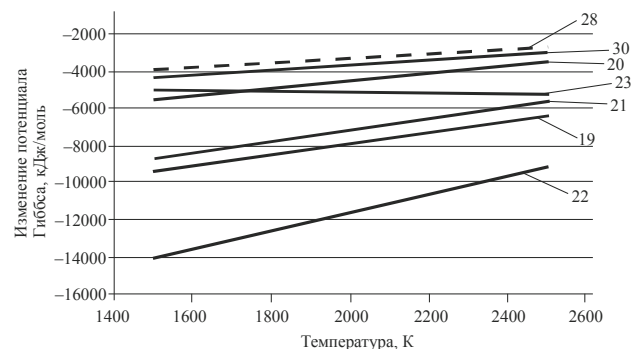


Рис. 3. Изменение потенциала Гиббса реакций раскисления стали при использовании комплексных раскислителей групповой комбинации (номера на графике соответствуют номерам реакций по тексту статьи)

Из результатов расчета изменения потенциала Гиббса (рис. 3) видно, наибольшей эффективностью обладает комплекс на основе алюминия и кремния с такими металлами, как магний, железо и кальций. Наибольшая эффективность выявлена при создании комплекса на основе алюминия и кремния с кальцием и углеродом, реакция (22). Однако такой комплекс может создавать условия для легирования стали углеродом, что приведет к ухудшению ее качества.

Объяснение полученных результатов можно изложить следующей моделью. При подаче в расплав, в качестве первого, более слабого металлического раскислителя из ряда сродства к кислороду происходит взаимодействие с растворенным в расплаве кислородом и образование соответствующего окисла. Реакция проходит до установления равновесия, после чего металл раскислителя становится легирующим элементов в расплаве. Поэтому порция первого металла-раскислителя должна рассчитываться из условия наступления равновесного состояния. Следующая порция второго металла-раскислителя также доходит до равновесного состояния, после чего избыточное количество второго металла-раскислителя также становится легирующим элементом. Но при этом происходит более интенсивное

раскисление расплава с выводом окислов на поверхность расплава в виде шлака. Использование третьего и четвертого металлов в комплексном раскислителе, на основе предложенной модели, повышает эффективность процесса раскисления, улучшается кинетика раскисления и снижается количество неметаллических включений.

#### 4. Выводы

Для оптимизации технологии раскисления стали целесообразно использовать комплексные раскислители на основе комбинаций металлов из ряда средств их к кислороду. При этом следует учитывать концентрационные зависимости наступления равновесия реакций взаимодействия между металлом-раскислителем и растворенным в расплаве кислородом.

#### Литература

1. Явойский А. В. Научные основы современных сталеплавильных процессов / А. В. Явойский, П. С. Харлашин, Т. М. Чаудри. — Мариуполь, 2003 — 276 с. — Библиогр. с. 272–289. — 300 экз.
2. Химическое сродство элементов к кислороду [Электронный ресурс]. — Украинская Ассоциация Сталеплавильщиков. Информационный портал о черной и цветной металлургии. — Режим выборки: <http://uas.su/glossary/eng/C/chemicalaffinity.php>. — 10.10.2012.
3. Шульга В. О. Физико-химический анализ процесса раскисления стали / В. О. Шульга, И. Ф. Червоний, С. Г. Егоров, В. П. Грицай // Металлургия : наукові праці ЗДІА. — Запоріжжя : ЗДІА, 2012. — Вип. 3(28). — С. 38–42. — Библиогр. с. 42.
4. Зборщик О. М. Фізико-хімічні процеси позаагрегатного рафінування металу : навчальний посібник / О. М. Зборщик. — Донецьк: ДонНТУ, 2001. — 154 с. — Библиогр. с. 149. — 150 экз. — ISBN 966-7559-56-4.
5. Кнюппель Г. Раскисление и вакуумная обработка стали. Часть I. Термодинамические и кинетические закономерности : пер. с нем. Г. Н. Еланского. — М.: Металлургия, 1973. — 312 с. — Библиогр. с. 305–311. — 2200 экз.
6. Аменова А. А. Качественные показатели стали RR St 37-2 раскисленной комплексным ферросплавом ферросиликоалюмобарием [Электронный ресурс] / А. А. Аменова, А. Х. Нурумгалиев, Д. У. Смагулов // Режим выборки: <http://vestnik.kazntu.kz/files/newspapers/46/1324/1324.pdf>. — 22.11.2012.
7. Казачков Е. А. Комплексное раскисление стали алюминием и кальцием [Электронный ресурс] / Е. А. Казачков, Л. Е. Бойчук // Вісник приазовського державного технічного університету. Серія: Технічні науки. — Вип. № 20. — 2010. — С. 11–14. — Библиогр.: с. 14.
8. Pat. US5868875 United States. Int. Cl.6 C21D 8/02; C22C 38/28. Non-ridging ferritic chromium alloyed steel and method of making [Электронный ресурс] / Eizo Yoshitake, Alan R. McKague. — Date of Patent: Feb. 9, 1999. — Режим выборки: <http://www.google.com.ua/patents/US5868875>. — 20.11.2012.
9. Pat. US6511553 United States. Int. Cl.7 C22C 3S/06; C22C 38/14. Steel for steel excellent in workability and method of deoxidizing same [Электронный ресурс] / Junji Nakashima, Takashi Sawal, Mitsuo Uchimura, Wataru Yamada, Shigenori Tanaka, Yasuharu Sakuma, Akinobu Murasato. — Date of Patent: Jan. 28, 2003. — Режим выборки: <http://www.google.ru/patents/US6511553>. — 20.11.2012.

*Abstract. The article provides the results of the thermodynamic analysis of steel killing. The use of metal-based deoxidizers taking into consideration their affinity with oxygen provides the removal of oxygen. To test the possibility of the efficiency increase of killing the physicochemical analysis of combinations of metals and their interactions with the dissolved oxygen was performed.*

*The removal of oxygen from the melt progresses more intensively due to the complex deoxidizers based on calcium, titanium, silicon, aluminum and vanadium. The complex deoxidizers based on aluminum with silicon and barium are quite effective. At the same time, there exists a possibility to increase the efficiency of the complex based on the metal with a weaker affinity with oxygen with metals with a high affinity with oxygen.*

*The article suggests the explanation of the results based on a model that takes into account the establishment of equilibrium of reactions between metal-deoxidizer and dissolved oxygen. When applying to the melt as the first, weaker metal-deoxidized, the interaction with the dissolved oxygen in the melt and the formation of the corresponding oxide take place. The next portion of the second metal-deoxidizer also achieves the equilibrium state, and then the excess amount of the second metal-deoxidizer also becomes the alloying element. But it entails more intensive melt killing with output of oxides on the surface of the melt in the form of slag. The use of third and fourth metals in complex deoxidizer on the basis of suggested model increases the efficiency of the killing, improves its kinetics and reduces the number of nonmetal impurities.*

*Keywords: steel, killing, physicochemical analysis, oxygen, affinity with oxygen, equilibrium of chemical reactions.*