

- D.N. Crowther // Proceedings of the international symposium 2001 on Vanadium application technology. Beijing, China, – 2001. – P.p. 99-131.
15. Influence of Strain Rate on Hot Ductility of a V-Microalloyed Steel Slab / S. Großeiber [et al.] // Steel research international. – 2012. – Vol. 83. – Issue 5. – P.p. 445-455.
  16. Ogorodnikova O.M. Prediction crystallization-tion of cracks in steel castings / O.M. Ogorodnikova, S.V. Martynenko, V.M. Grusman // Foundry. – 2008. – № 10. – P.p. 29-34. (Rus.)
  17. Chen L. Effects of Second Phase Particle Dispersion on Kinetics of Isothermal Peritectic Transformation in Fe-C Alloy / L. Chen // ISIJ International. – 2012. – Vol. 52. – № 3. – P.p. 434-440.
  18. Kato T. Improvement of hot shortness and prevention of transverse improvement of hot shortness and prevention of transverse cracking by slab surface microstructure control / T. Kato // 4th European Continuous Casting Conference. – Birmingham, United Kingdom, – 2002. – P.p. 849-857.
  19. Berdnikov S.N. Improving the design of the narrow walls of the mold slab caster / S.N. Berdnikov // Steel. – 2012. – № 2. – P.p. 92-95. (Rus.)
  20. Eckhardt D. Selection of slag-forming mixtures for the continuous casting of carbon steel / D. Eckhardt, D. Behmann // Steel. – 2008. – № 11. – P.p. 19-22. (Rus.)
  21. Sengupta J. A new mechanism of hook formation during continuous casting of ultra-low-carbon steel slabs / J. Sengupta // Metall and Mat Trans A. – 2006. – Vol. 37. – № 5. – P.p. 1597-1611.

Рецензент: В.Г. Ефременко  
д-р техн. наук, проф., ГВУЗ «ЛГТУ»

Статья поступила 10.04.2015

УДК 669.187.2

© Скребцов А.М.<sup>1</sup>, Хлестов В.М.<sup>2</sup>, Качиков А.С.<sup>3</sup>, Проценко Д.Н.<sup>4</sup>

### АНОМАЛЬНОЕ ПОВЕДЕНИЕ ЛЕГИРУЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ СТАЛИ В НАСЛЕДСТВЕННОЙ СТРУКТУРЕ ТВЕРДОГО МЕТАЛЛА ПРИ ПЛАВКЕ ЕГО В ЭЛЕКТРОПЕЧИ

*Обнаружено, что при плавке стали в электропечи действие компонентов расплава на наследственную структуру затвердевшего металла зависит от атмосферы печи (окислительной или восстановительной). Элементы, расширяющие области существования  $\gamma$ -фазы железа в окислительный период плавки, уменьшают количество феррита в структуре затвердевшей стали. Те же элементы в восстановительный период плавки действуют в том же направлении, но значительно слабее.*

**Ключевые слова:** элемент, сталь,  $\gamma$ -фазы,  $\alpha$ -фазы, феррит, перлит.

*Скребцов О.М., Хлестов В.М., Качиков О.С., Проценко Д.Н. Аномальна поведінка легуючих елементів сталі в спадковій структурі твердого металу при плаві його в електропечі. Виявлено, що при плаві сталі в електропечі дія компонентів розплаву на спадкову структуру затверділого металу залежить від атмосфери печі (окисної або відновлювальної). Елементи, що розширюють області існування  $\gamma$ -фази заліза в окислювальний період плавки, зменшують кількість фериту в структурі затверділої сталі. Ті ж елементи у відбудовний період плавки діють в тому ж напрямку, але значно слабше.*

**Ключові слова:** елемент, сталь,  $\gamma$ -фази,  $\alpha$ -фази, ферит, перліт.

<sup>1</sup> д-р техн. наук, профессор, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь

<sup>2</sup> канд. техн. наук, доцент, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь

<sup>3</sup> аспирант, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь,

[aleksej.sergeevich@mail.ru](mailto:aleksej.sergeevich@mail.ru)

<sup>4</sup> аспирант, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь

*O.M. Skrebtsov, V.M. Khlestov, O.S. Kachikov, D.N. Protsenko. Anomalous behavior of the steel alloying elements in the genetic structure of the solid metal at its smelting in electric furnaces. Melting process in an electric arc furnace and transformations taking place in solidified metals are not thoroughly understood yet. This article is devoted to these phenomena in liquid and solid metal and therefore is relevant at the moment. The authors sampled molten metal during all periods of mild steel smelting in an electric arc furnace beginning from melting the charge up to metal outlet out of the furnace into the ladle. Samples were analyzed for chemical elements content, and the microstructure of solidified samples (the ratio of ferrite and pearlite). It has been found that elements expanding  $\gamma$  – phase domain of existence (Mn, Ni) during oxidation act similarly at deoxidation, but much weaker. This fact is interesting for science, it is advisable that these phenomena should be checked for the metal melted in other melting units – induction and crucible furnaces.*

**Keywords:** element steel,  $\gamma$  - phase,  $\alpha$  - phase, ferrite, pearlite.

**Постановка проблеми.** В металловедческой литературе существуют убеждения, что некоторые элементы в сталях (Mn, Ni, Cu, Zn и др.) расширяют область существования  $\gamma$  – фазы железа или аустенита, другие элементы (Al, Si, Mo, Cr, V и др.) расширяют области  $\alpha$  – фазы или феррита. В работе [1, 2] обсуждают структуру затвердевшей стали, как наследственное свойство жидкого расплава. Однако в этой работе и в других подобных работах совсем не рассматривается вопросы *влияния условий* выплавки металла на его свойства в твердом состоянии.

При этом в литературе также хорошо известно, что условия ее выплавки в различных плавильных агрегатах приведут к различным свойствам затвердевшего металла [3].

**Анализ последних исследований и публикаций.** Большинство авторов согласны с классификаций элементов работы [1] и других подобных работ по той же тематике по перечню элементов стабилизирующих  $\gamma$  – фазы или  $\alpha$  – фазы железа. Так, например, в работе [4] при изучении структуры перитектических сталей к  $\gamma$  – стабилизирующим элементам отнесены Ni и Cu, а к  $\alpha$  – стабилизирующим – Mo и Cr.

**Цель статьи** – на основании новых экспериментальных данных проанализировать влияние некоторых элементов (Mn, Si, Cr, Ni, Cu) на структуру затвердевшего металла.

**Изложение основного материала.** Опыты проводили в 25 т дуговой электропечи с окислительным и восстановительным периодами плавки. Химический состав выплаваемой стали был следующим: 0,17 - 0,25 С %; 0,90 – 1,4 Mn %; 0,30 – 0,50 Si %;  $\leq 0,030$  S %;  $\leq 0,040$  P %;  $\leq 0,30$  Cr %;  $\leq 0,30$  Ni %;  $\leq 0,60$  Cu %; 0,07-0,13 V%. Технология плавки была обычной, она детально описана в литературе [3].

Всего было проведено 5 опытных плавков. Во время плавков, с помощью ложки сталевара, отбирали пробы жидкого металла, которые заливали в массивные чугунные пробницы. Размеры проб: высота 70 мм, диаметр 38 мм, масса проб – 500 – 560 г. Схема отбора проб по периодам плавки была следующей: плавление - 1<sup>ая</sup>, 2<sup>ая</sup>, 3<sup>ья</sup>; окисление - 4<sup>ая</sup>, 5<sup>ая</sup>, 6<sup>ая</sup>; восстановление - 7<sup>ая</sup>, 8<sup>ая</sup>, 9<sup>ая</sup> и 10<sup>ая</sup> – из ковша. Для всех проб металла выполнили их химический анализ и изучили микроструктуру. Химический анализ проб металла проводили на оптико-эмиссионном спектрометре GS – 1000 из модельного ряда OBLE.

Для металлографического анализа отожженных проб металла изготовили микрошлифы, которые протравили в 4% растворе азотной кислоты. При увеличении  $\times 100$  крат шлифы исследовали на оптическом бинокулярном микроскопе марки Axio Imagez A2m (производство германской фирмы Zeiss AG). Он позволяет с помощью специальной программы Thixomet Pro определять по микроструктуре количественное соотношение феррита и перлита в стали.

Во всех пробах металла, по классическим представлениям, расширяют область существования  $\gamma$  – фазы железа элемент, марганец в пределах до 1,0 – 1,2%, никель до 0,10%. Стабилизаторами  $\alpha$  – фазы железа в пробах металла были хром до 0,15% и кремний до 0,45%.

При обработке экспериментальных данных был составлен комплекс:

$$\Psi = \Sigma_2 / \Sigma_1,$$

где  $\Sigma_2$  – сумма содержаний элементов в пробах металла, расширяющих область  $\gamma$  – фазы

железа, массовые %;  $\Sigma_1$  – сумма содержаний элементов в пробах металла, расширяющих область  $\alpha$  – фазы железа, массовые %.

На рис. 1 представлен процент феррита в стали в зависимости от показателя  $\Psi$  для окислительного периода (а) и восстановительного периода плавки (б). Из рис. 1 видны четкие зависимости: в окислительный период (а), чем больше содержание элементов, расширяющих  $\gamma$  – область в стали, тем меньше процент феррита в затвердевшей стали. Из рис. 1 б видно, что металл восстановительного периода плавки в электропечи обладает меньшей способностью наследовать свойства жидкого расплава.

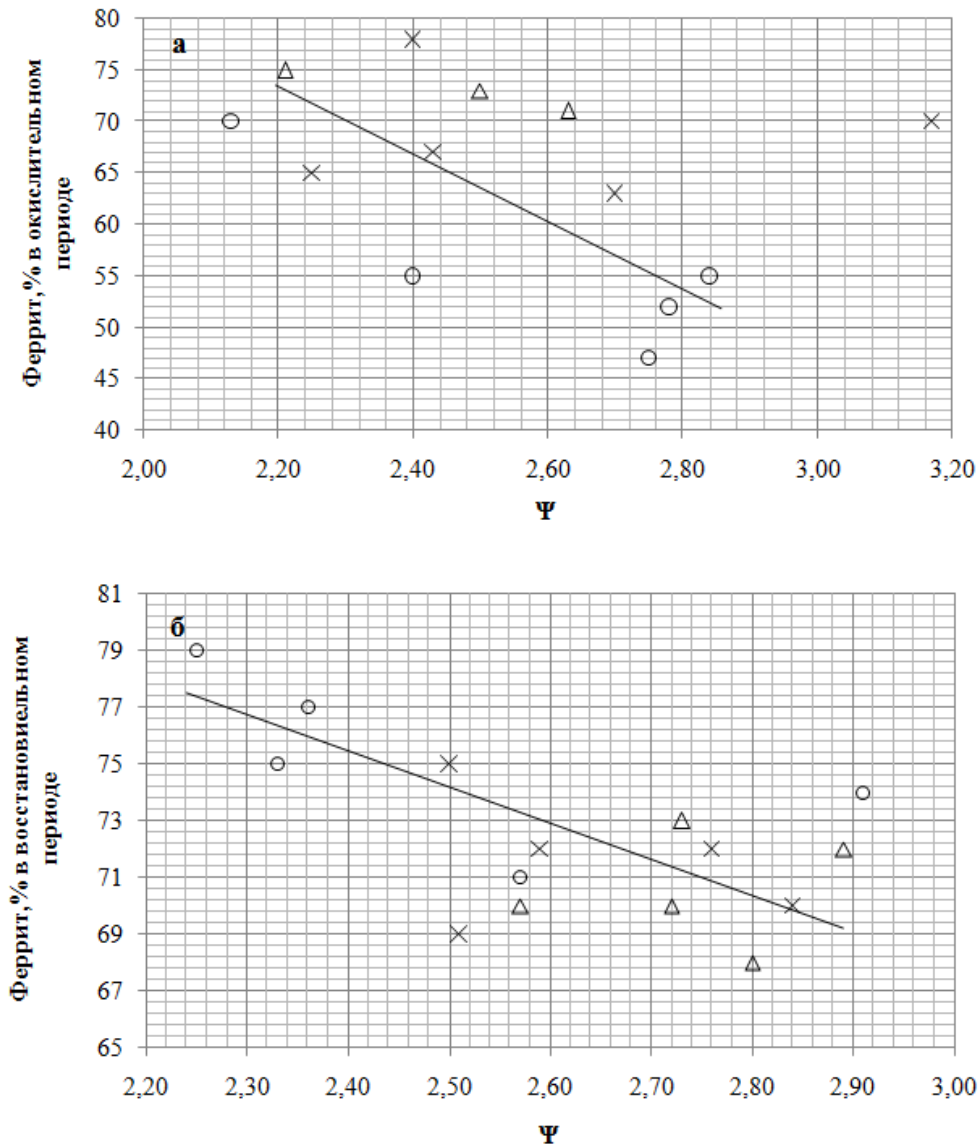


Рис. 1 – Содержание феррита в затвердевших пробах металла окислительного (а) и восстановительного (б) периода плавки в электропечи в зависимости от показателя  $\Psi$  химического состава металла, № пробы и их обозначение: ○ – 4, 7; × – 5, 8; △ – 6, 9

Таким образом, впервые показано, что свойства затвердевшей стали зависят от характера среды в плавильном агрегате - окислительной или восстановительной.

Для того чтобы иметь возможность сравнивать в разных опытах степень отклонения образовавшегося феррита от его равновесного состояния по диаграмме Fe-C по правилу отрезков нашли расчетное содержание феррита в стали  $F_{e_{pc}}$  в зависимости от концентрации в ней углерода [1]. При этом приняли, что в равновесном эвтектидном сплаве содержание углерода 0,8%. Как известно, марганец при содержании его около 1% понижает концентрацию углерода

в эвтектоиде до 0,7% [1]. Как показали расчеты, при принятых содержаниях углерода в эвтектоиде 0,7% или 0,8%, результаты вычисления существенно не отличаются друг от друга.

На рис. 2 показано отношение  $\Phi_{оп}/\Phi_{рас}$  % в зависимости от показателя химического состава металла  $\Psi$ . Отношение величин содержаний феррита имеет большой разброс точек в окислительный (рис. 2а) по сравнению с восстановительным периодом (рис. 2б). Для равновесного распределения элементов стали упомянутое отношение должно стремиться к единице. Таким образом, отношение  $\Phi_{оп}/\Phi_{рас}$  % может быть показателем однородности металлического расплава во время плавки его в электропечи.

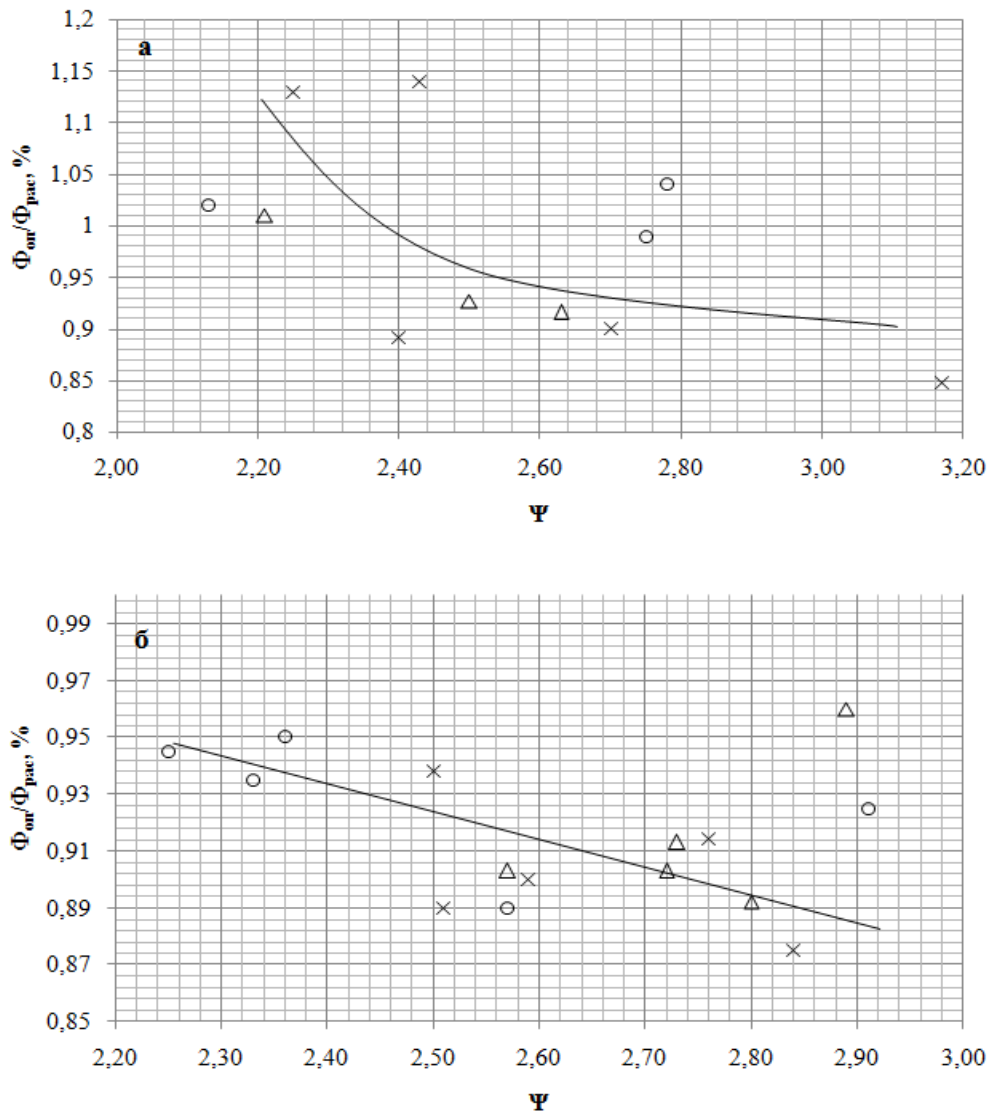


Рис. 2 – Отношение процентов феррита опытного  $\Phi_{оп}$ , % и расчетного  $\Phi_{рас}$ , % в затвердевших пробах металла окислительного (а) и восстановительного (б) периодов плавки стали в электропечи в зависимости от показателя  $\Psi$  химического состава металла

### Выводы

Элементы, расширяющие область существования в наследственной структуре  $\gamma$  – область железа, в восстановительный период плавки металла в электропечи действуют значительно слабее по сравнению с окислительным периодом.

В затвердевших пробах жидкой стали отношение содержаний феррита опытного и расчетного по диаграмме состояния Fe-C может быть использовано, как показатель однородности первоначального состояния расплавленного металла.

**Список использованных источников:**

1. Гуляев А.П. *Металловедение* / А.П. Гуляев. – М. : *Металлургия*, 1986. – 542 с.
2. Структура затвердевшего металла как наследственное свойство химического состава жидкого расплава / А.М. Скребцов, В.М. Хлестов, А.С. Качиков, А.О. Секачев, В.В. Терзи // *Вісник Приазовського державного технічного університету* : Зб. наук. пр. / ДВНЗ «ПДТУ». – Маріуполь, 2014. – Вип. 29. – С. 15-20.
3. Крамаров А.В. *Производство стали в электропечах*. – М. : *Металлургиздат*. – 1969. – 440 с.
4. Яценко А.И. Структурно-концентрационные особенности  $\delta(\alpha) \rightarrow \gamma$ -превращения в низкоуглеродистых сталях / А.И. Яценко, К.Ю. Доронкин, П.Д. Гришко // *Металловедение и термическая обработка металлов*. – 1986. – № 7. – С. 18-20.

**Bibliography:**

1. Gulyaev A.P. *Metallography* / A.P. Gulyaev. – M. : *Metallurgiya*, 1986. – 542 p. (Rus.)
2. The structure of the solidified metal as the hereditary property of the chemical composition of the liquid melt / A.M. Skrebtsov, V.M. Khlestov, A.S. Kachicov, A.O. Sekachev, V.V. Terzi // *Reporter of the Priazovskyi state technical university : collection of scientific works / SHEE «PSTU»*. – Mariupol, 2014 - Issue 29. – P. 15-20. (Rus.)
3. Kramarov A.V. *The production of steel in electric furnaces*. – M. : *Metallurgizdat*. – 1969. – 440 p. (Rus.)
4. Yatsenko A.I. *Structural-concentration effects  $\delta(\alpha) \rightarrow \gamma$ -becoming a low-carbon steel* / A.I. Yatsenko, K.Y. Doronkin, P.D. Grishko // *Metallurgy and heat treatment of metals*. – 1986. – № 7. – P. 18-20. (Rus.)

Рецензент: В.Г. Ефременко  
д-р техн. наук, проф., ГВУЗ «ПГТУ»

Статья поступила 03.11.2015

УДК 669.154.002.61

© Иванов Г.А.<sup>1</sup>, Алексеева В.А.<sup>2</sup>, Семеренко А.А.<sup>3</sup>

**ВЛИЯНИЕ ИСХОДНОЙ МИКРОСТРУКТУРЫ ШИХТЫ  
АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА ПОСЛЕ ЕЕ РАСПЛАВЛЕНИЯ НА  
НАСЛЕДСТВЕННУЮ СТРУКТУРУ ЗАТВЕРДЕВШЕГО МЕТАЛЛА**

*Исследовано влияние длительности изотермической выдержки на жидкотекучесть расплава алюминия, выплавленного из мелкозернистой и крупнозернистой шихты. Установлено, что для крупнозернистого металла доплавление «генов» кристаллизации происходит в 1,4 раза быстрее по сравнению с мелкозернистой. Найдены уравнения математического описания процессов.*

**Ключевые слова:** алюминий, квазикристалл, кластер, «ген» кристаллизации, доплавление.

**Іванов Г.О., Алексєєва В.А., Семеренко О.О. Вплив початкової мікроструктури шихти алюмінієвого сплаву після її розплавлення на спадкову структуру затвердлого металу. Досліджений вплив тривалості ізотермічної витримки на рідкоплинність розплаву алюмінію, виплавленого з дрібнозернистої і крупнозернистої**

<sup>1</sup> аспирант, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь, [us5iuy@mail.ru](mailto:us5iuy@mail.ru)

<sup>2</sup> ассистент, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь, [aveni@list.tu](mailto:aveni@list.tu)

<sup>3</sup> инженер, ТОВ «Метинвест – Мариупольський ремонтно-механічний завод», г. Мариуполь, [semerenko2013@list.ru](mailto:semerenko2013@list.ru)