

3. Development of lance's apparatus and technology of gas-powder slagging of the 160t converters' lining JSC «Arselor Mittal Kryvyi Rih» / E.N. Sigaryov [and others] // Metallurgic and metal mining industry. – 2010. – №7. – P. 134-137. (Rus.)
4. Theory and practice of flare shotcreting of the 160t oxygen converters' lining / P.S. Kharlashin, A.A. Larionov, A.K. Kharin, N.O. Chemeris // New refractory materials. – 2010. – №7. – P. 5-9. (Rus.)
5. Mehaelidis E.E. Particles movement in the gas flow. Middle velocity and pressure losses / E.E. Mehaelidis // Theoretical basis of engineer calculations. – 1988. – №1. – P. 276-288. (Rus.)

Reviewer: V.A. Maslov

Dr. tech. of sciences, Prof., Priazovskyi State Technical University

Received 26.11.2014

УДК 669.187.2

© Скребцов А.М.¹, Хлестов В.М.², Качиков А.С.³,
Секачев А.О.⁴, Терзи В.В.⁵

СТРУКТУРА ЗАТВЕРДЕВШЕГО МЕТАЛЛА КАК НАСЛЕДСТВЕННОЕ СВОЙСТВО ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ЖИДКОГО РАСПЛАВА

Обнаружено, что при плавке стали в электропечи действие компонентов расплава на наследственную структуру затвердевшего металла зависит от химического состава металла. Разработан показатель стабильности ферритной структуры стали с использованием электроотрицательности элементов.

Ключевые слова: жидкая сталь, наследственная структура твердого, неравновесность структуры, феррит, перлит.

Скребцов О.М., Хлестов В.М., Качиков О.С., Секачев О.О., Терзи В.В. Структура затвердлого металлу як спадкове властивість хімічного складу рідкого розплаву. Виявлено, що при плавіці сталі в електропечі дію компонентів розплаву на спадкову структуру затвердлого металу залежить від хімічного складу металу. Розроблено показник стабільності ферритної структури сталі з використанням електро-негативності елементів.

Ключові слова: рідка сталь, спадкова структура твердого, неравновесность стру-
ктури, ферит, перліт.

O.M. Skrebtsov, V.M. Khlestov, O.S. Kachikov, O.O. Sekachev, V.V. Terzi. The structure of the solidified metal as an inherited property of the chemical composition of the liquid melt. It is found that when melting steel in an electric furnace to melt components acting upon the inherited structure of the solidified metal depends on its chemical composition. The experiments were performed in a 20 - ton electric arc furnace for smelting peritectic steel of the following composition: 0.17 - 0.25 C%; 0,90 - 1,4 Mn%; 0,30 -0,50 Si%; ≤ 0,030 S%; ≤ 0,040 P%; ≤ 0,30 Cr%; ≤ 0,30 Ni%; ≤ 0,60 Cu%; 0,07-0,13 V%. For metallographic studies all samples were subjected to standard metal annealing to eliminate the influence of microstructure on inherited sufficiently rapid cooling from the liquid state. From annealed samples prepared Micro-sections that etched in a 4% solution of nitric acid. With an increase from 100 to 500-fold sections were examined on an

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

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

³ аспирант, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь,
aleksej.sergeevich@mail.ru

⁴ аспирант, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь

⁵ ст. лаборант, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь

optical binocular microscope brands Axio Imagez A2m (production of the German company Zeis AG). The microscope is equipped with a computer, which allows for solving metallurgical problems with the help of a special program Thixomet Pro from thin sections to determine its metal phase composition by percentage of ferrite and pearlite. This paper considers the deviations we obtained from the equilibrium state structures. Develop indicators of stability of ferrites steel structure using the electro negativity of elements. First developed an indicator of stability structure of mild steel in content of ferrite in it. It can be used in controlling the metal structure in the desired direction within the grade composition.

Keywords: *liquid steel, inherited structure of a solid, non-equilibrium structures, ferrite, pearlite.*

Постановка проблеми. В літературі існують роботи, в яких вивчають властивості твердого металу в залежності від умов отримання його в плавильному агрегаті. Однак в літературі дуже мало робіт, де вивчали б структуру твердого металу як успадковану властивість рідкого расплаву.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Температурний режим виплавки і хімічний склад металічних расплавів впливає на мікроструктуру твердого і якість металопродукції. Цим питанням приділено велику увагу в монографії Б.А. Баум з соавторами [1], в роботі А.М. Скребцова [2], і в більш ранніх публікаціях [3, 4]. Однак експериментальних даних явно недостатньо для узагальнюючих висновків по цьому питанню.

Ціль статті – вивчення впливу хімічного складу сталі на успадковану мікроструктуру металу в залежності від умов його плавки (окислювальний і відновлювальний періоди в електропечі).

Изложение основного материала. Експерименти проводили в 20 – т дугової електропечі при виплавці перитектичної сталі наступного хімічного складу: 0,17–0,25 С %; 0,90–1,4 Мн %; 0,30–0,50 Si %; $\leq 0,030$ S %; $\leq 0,040$ Р %; $\leq 0,30$ Cr %; $\leq 0,30$ Ni %; $\leq 0,60$ Cu %; 0,07–0,13 V%. Технологія плавки металу була стандартною, вона достатньо детально описана в роботі [5].

Всього було проведено 5 експериментальних плавів. Під час плавки, з допомогою ложки сталевара, відбирали проби рідкого металу, які заливали в масивні чугунні пробніци. Розміри проб: висота 70 мм, діаметр 38 мм, маса проб – 500 – 560 г. Схема відбору проб по періодам плавки була наступною: плавлення - 1^{ая}, 2^{ая}, 3^{ья}; окислення - 4^{ая}, 5^{ая}, 6^{ая}; відновлення - 7^{ая}, 8^{ая}, 9^{ая} і 10^{ая} – із ковша. Для всіх проб металу виконали їх хімічний аналіз і вивчили мікроструктуру.

Хімічний аналіз проб металу проводили на оптико-емісійному спектрометрі GS – 1000 із модельного ряду OBLE. Крім звичайних легируючих елементів сталі (Mn, Si, Cu, Ni, і др.) прилад дозволяє провести аналіз на вміст в металі вуглецю, фосфору, сірки.

Для металлографічного дослідження всі проби металу підвергали стандартному отжигу, щоб виключити вплив на успадковану мікроструктуру достатньо швидкого їх охолодження із рідкого стану. Із отожжених проб приготували мікрошлифи, які протравили в 4% розчині азотної кислоти. При збільшенні від 100 до 500 крат шлифи досліджували на оптичному бінокулярному мікроскопі марки Axio Imagez A2m (виробництво німецької фірми Zeis AG). Мікроскоп оснащений комп'ютером, який дозволяє при розв'язанні металургічних завдань з допомогою спеціальної програми Thixomet Pro визначати по шлифу металу його фазовий склад по відсотку ферриту і перліту.

Нерівноважність успадкованої структури твердого металу. В літературі прийнято користуватися «рівноважними» діаграмами стану бінарних і окремими їх елементами багатокомпонентних сплавів (див. напр. [6]). Вони побудовані, як правило, по результатам аномальних температурних кривих охолодження металів. При цьому мовчки передполагается, що швидкості охолодження металу такі – то звичайні або середні. Між тим, відомо, що швидкості охолодження визначають температури структурних перетворень і величину переохолодження рідких металів [7, 8]. Тому при порівнянні таких – або експериментальних даних з «рівноважною» діаграмою стану сплаву треба мати на увазі, що вона побудована при певній швидкості охолодження металу.

Далее в нашей работе рассматривали отклонения полученных нами структур от равновесного состояния. По правилу отрезков, для содержания углерода в стали от 0 до 0,8%, по диаграмме состояния Fe – С из работы [6], вычислили для каждого шлифа процент феррита (линия А на рис. 1). Эти значения сравнили с экспериментальными величинами процента феррита в пробах всех 5^{-ти} плавков металла (значки для разных плавков на рис. 1). На этом рисунке по оси ординат приведены номера проб металла и средние значения содержания углерода в них для проб всех пяти плавков.

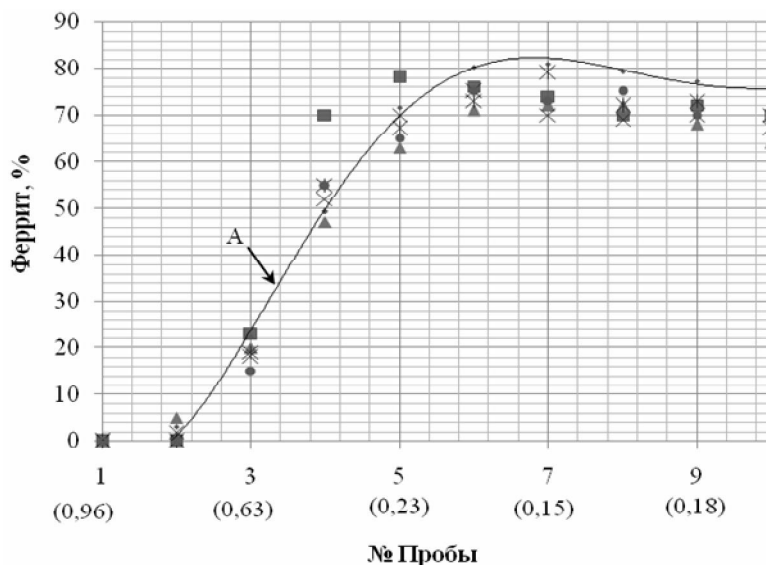


Рис. 1 – Процент феррита в пробах металла, отобранных по ходу плавки стали: кривая А – равновесное значение процента феррита, вычисленное по правилу отрезков из диаграммы Fe–С; × – плавка №1, • – плавка №2, ▲ – плавка №3, ⌘ – плавка №4, ■ – плавка №5

Как видно из рис. 1, опытные значения процента феррита на шлифах, как правило, меньше вычисленных по правилу отрезков, по всем периодам плавки. Это означает, что структурные превращения в металле не достигают равновесного состояния.

Влияние химического состава металла на содержание феррита в наследственной структуре. В работе [9, 10] утверждается, что для наследственной структуры затвердевших перитектических сталей есть компоненты α – стабилизирующие, – это Si, Al, Cr, Mo и γ – стабилизирующие, - это Mn, Cu, Ni, С. Для более четкой оценки различных зависимостей массовые проценты содержания элементов всех проб металла были пересчитаны в атомные.

В период плавления шихты (пробы 1, 2, 3) содержание феррита в наследственной структуре малое и от одной к другой пробе оно быстро меняется. Поэтому анализу влияние химического состава металла на количество феррита в пробе провели для периодов окислительного (пробы № 4, 5, 6) и восстановительного (пробы № 7, 8, 9). Рассматривали также пробу №10 взятую из ковша.

Для пяти опытных плавков и одинакового порядка отбора проб рассмотрели разность содержания феррита в металле. Результаты анализа представлены в таблице.

Таблица

Анализ определения разности содержания феррита в шлифах твердого металла от проб одного периода при отборе их из печи (пять опытных плавков)

Столбец	№ проб	4	5, 6	7	8, 9	10
1	Разность в содержаниях феррита фактическая (max - min), %	23	16	9	6	2
2	Разность в содержаниях феррита относительная, %	100,	70,0	39,0	26,0	8,7

Из таблицы видно, что степень неоднородности наследственной структуры затвердевшего металла сильно меняется от начала окислительного периода (проба № 4, 100% отн.) после выпуска металла из печи (проба № 10; 8,7 % отн.).

Все процессы в металле проходят в среде жидкого расплава железа. Поэтому электроотрицательность всех элементов вычислили по отношению к железу по формуле:

$$\varepsilon_{0,э} = \frac{\varepsilon_{Fe} - \varepsilon_э}{\varepsilon_{Fe}} * 100\%, \quad (1)$$

где $\varepsilon_{0,э}$ – относительная электроотрицательность каждого элемента, %

$\varepsilon_{Fe}, \varepsilon_э$ – электроотрицательность железа и соответствующего элемента по Полингу [11].

В окислительном периоде плавки присадками, стабилизирующими α – фазу железа считали Cr, P, а γ – фазу - C, Mn, Cu Ni. В восстановительный период плавки в качестве стабилизатора α – фазы добавляли также Si.

При анализе опытных данных учитывали, что действие каждого элемента на стабилизацию α – фазы структуры пропорционально произведению его содержания в сплаве a_i в атомных процентах и абсолютного значения величины $|\varepsilon_{0,э}|$, т.е. $a_i * |\varepsilon_{0,э}|$.

Суммарное действие элементов в расплаве железа на стабилизацию наследственной структуры вычисляли по выражению:

$$\Psi = \frac{\sum_2 a_i |\varepsilon_{0,э}|}{\sum_1 a_i |\varepsilon_{0,э}|}, \quad (2)$$

где Ψ – коэффициент стабилизации, отн. единиц; Σ_2 – относится к элементам, стабилизирующим γ -фазу, а Σ_1 – относится к элементам, стабилизирующим α -фазу.

Величину Ψ можно считать показателем стабильности ферритной фазы в структуре металла. Построение графиков по экспериментальным данным и определение уравнения с достоверности аппроксимации к ним, производилось в программе MS Excel.

Для анализа влияния химического состава стали на количество феррита в наследственной структуре стали использовали явление электроотрицательности элементов [11]. Оно «характеризует химическое сродство разнородных атомов». При этом, чем больше отстоят друг от друга два элемента на шкале электроотрицательностей [11], тем прочнее меж атомная связь между ними.

На рис. 2 показан процент феррита в пробах металла в зависимости от показателя Ψ в окислительном периоде плавки, а рис. 3 приведена аналогичная зависимость для восстановительного периода. На рис. 3 приведены также опытные точки для величины Ψ по пробе № 10, взятой из ковша. Из рис. 2 и 3 видно, что с увеличением значения Ψ процент феррита в структуре металла уменьшается. При этом наиболее сильная зависимость наблюдается для окислительного периода (рис. 2), а более слабая – для проб взятых из ковша.

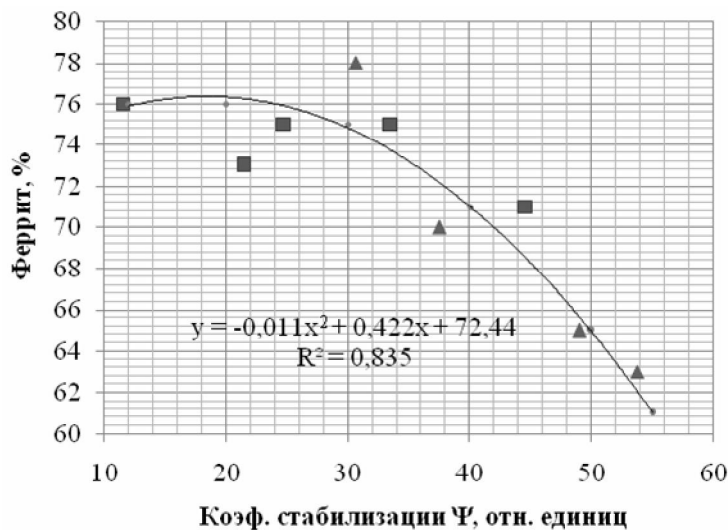


Рис. 2 – Процент феррита в наследственной структуре металла в окислительном периоде в зависимости от величины показателя стабильности ферритовой фазы Ψ :

▲ – пробы №5, ■ – пробы №6

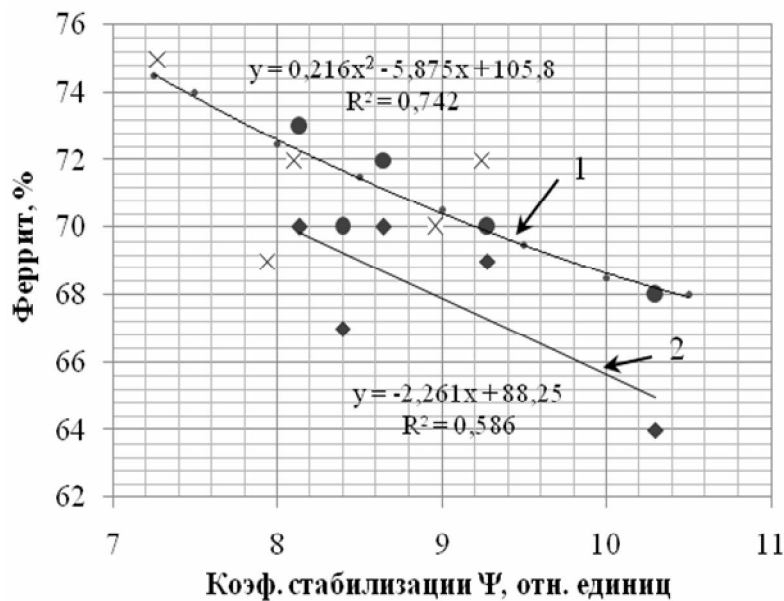


Рис. 3 – Процент феррита в наследственной структуре металла в восстановительном периоде (линия 1) и в ковше (линия 2) в зависимости от величины показателя стабильности ферритовой фазы Ψ : × – пробы №8, ● – пробы № 9, * – пробы №10

Полученные зависимости могут быть использованы при регулировании структуры малоуглеродистых сталей в пределах их марочного состава в желательном направлении.

Выводы

1. Разработана методика отбора проб жидкого металлического расплава во время его плавки в дуговой 20 – т электропечи и количественного анализа наследственной микроструктуры затвердевшей стали (феррита и перлита).
2. По сравнению с классической диаграммой состояния сплавов Fe – C наблюдаемая наследственная структура шлифов стали, не достигает равновесного состояния.
3. Впервые разработан показатель стабильности структуры малоуглеродистой стали по содержанию в ней феррита. Он может быть использован при регулировании структуры металла в желательном направлении в пределах марочного состава.

Список использованных источников:

1. Жидкая сталь / Б.А. Баум [и др]. – М. : Metallurgiya, 1991. – 158 с.
2. Скребцов А.М. Жидкие металлы, их свойства и строение / А.М. Скребцов. – Мариуполь: ПГТУ, 2010. – 252 с.
3. Таран Ю.Н. Влияние термоскоростной обработки жидкого сплава АЛ2 на свойства отливок / Ю.Н. Таран, И.А. Новохатский, В.И. Мазур // Литейное производство. – 1985. – №7. – С. 8.
4. Влияние температуры нагрева жидкого алюминиевого сплава на микроструктуру затвердевшего металла / А.М. Скребцов, Г.А. Иванов, Ю.Д. Кузьмин, А.С. Качиков, Е.В. Золоторева // Вісник Приазовського державного технічного університету. Серія Технічні науки: Зб. наук. пр. – Маріуполь, 2011. – Вип. 23. – С. 138-142.
5. Крамаров А.В. Производство стали в электропечах / А.В. Крамаров. – М. : Metallurgizdat, 1969. – 440 с.
6. Гуляев А.П. Metallovedenie / А.П. Гуляев. – М. : Metallurgiya, 1986. – 542 с.
7. Мирошниченко И.С. Закалка из жидкого состояния / И.С. Мирошниченко. – М. : Metallurgiya, 1982. – 168 с.
8. Influence of the cooling rate on the restructuring of metal melt / А.М. Skrebtsov, G.A. Ivanov, Yu.D. Kusmin, E.G. Vozkova // Steel in Translation. – Vol. 39. – №1. – 2009. – PP. 1-3.
9. Яценко А.И. Первичная структура перитектических сталей / А.И. Яценко, Н.И. Репина, П.Д. Гришко // Metallovedenie i termicheskaya obrabotka metallorv. – 1988. – №1. – С. 9-11.

10. Гольдштейн М.И. Специальные стали / М.И. Гольдштейн, С.В. Грачев, Ю.Г. Векслер. – М. : Metallurgiya, 1985. – 408 с.
11. Свидуневич Н.А. Взаимодействие компонентов в сплавах / Н.А. Свидуневич, В.П. Глыбин, Л.К. Сvirko. – М. : Metallurgiya, 1989. – 158 с.

Bibliography:

1. Liquid steel / B.A. Baum [and others]. – Moscow : Metallurgiya, 1991. – 158 p. (Rus.)
2. Skrebtsov A.M. Liquid metals, their properties and structure / A.M. Skrebtsov. – Mariupol : PSTU, 2010. – 252 p. (Rus.)
3. Taran J.N. Effect thermo-speed processing liquid alloy castings AL2 on property / J.N. Taran, I.A. Novokhatsky, V.I. Mazur // Foundry. – 1985. – №7. – P. 8. (Rus.)
4. Effect of heating temperature of molten aluminum alloy microstructure solidified metal / A.M. Skrebtsov, G.A. Ivanov, Y.D. Kuzmin, A.S. Kachikov, E.V. Zolotareva // Reporter of the priazovskyi state technical university. Section Technical sciences: collection of scientific works. – Mariupol, 2011. – Issue 23. – P. 138-142. (Rus.)
5. Kramarov A.V. Production of steel in electric furnaces / A.V. Kramarov. – M. : Metallurgiya, 1969. – 440 p. (Rus.)
6. Gulyaev A.P. Metallography. – M. : Metallurgiya, – 1986. – 542 p. (Rus.)
7. Miroshnichenko I.S. Quenching from the liquid state. – M. : Metallurgiya, 1982. – 168 с. (Rus.)
8. Influence of the cooling rate on the restructuring of metal melt / A.M. Skrebtsov, G.A. Ivanov, Yu.D. Kusmin, E.G. Bozkova // Steel in Translation. – Vol. 39. – №1. – 2009 – PP. 1-3.
9. Yatsenko A.I. The primary structure of peritectic steels / A.I. Yatsenko, N.I. Repin, P.D. Grishko // Metallurgy and heat treatment of metals. – 1988. – №1. – P. 9-11. (Rus.)
10. Goldstein M.I. Special steel / M.I. Goldstein, S.V. Grachev, Y.G. Wexler. – M. : Metallurgy, 1985. – 408 p. (Rus.)
11. Svidunovich N.A. Interaction of the components in the alloys / N.A. Svidunovich, V.P. Glybina, L.K. Svirko. – M. : Metallurgiya, 1989. – 158 p. (Rus.)

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

Статья поступила 29.10.2014

УДК 669.184.244

© Сущенко А.В.¹, Чернятевич А.Г.², Гриценко А.С.³

**ПОВЫШЕНИЕ СТОЙКОСТИ И НАДЕЖНОСТИ РАБОТЫ
ФУРМЕННЫХ НАКОНЕЧНИКОВ С ТАНГЕНЦИАЛЬНЫМ
РАСПОЛОЖЕНИЕМ СОПЕЛ**

Выполнено численное моделирование течения охлаждающей воды в фурменных наконечниках с тангенциальным расположением сопел для цельноточеной, литой и сварной конструкций. Предложены технические решения, направленные на повышение технологичности изготовления, а также стойкости и надежности работы головок кислородных фурм с тангенциальным расположением сопел сварной конструкции.

Ключевые слова: конвертер, кислородная фурма, наконечник, система охлаждения, гидродинамика, численное моделирование, сварные швы, конструкция сопел, технологичность изготовления, повышение стойкости.

¹ канд. техн. наук, доцент, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь, Sushchenko.andrei@gmail.com

² д-р техн. наук, профессор, Институт черной металлургии НАН Украины, г. Днепропетровск, agchern@ua.fm

³ аспирант, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь, Gritcenko.a.s@mail.ru