

3. Васильев, А.М. Использование золошлаковых отходов в мелиоративном и водохозяйственном строительстве / Мелиорация и водное хозяйство. - Москва, 2013. - №3. - С. 115-141.

4. Васильев, А.М. Развитие региональной индустрии удобрений: энерго-агропромышленный кластер / А.М. Васильев, В.В. Гутенев, В.В. Денисов [и др.] // Проблемы региональной экологии. - Москва, 2013. - №2. - С. 144-149.

#### References

1. Jekonomika prirodopol'zovanija i resursosberezhenija / pod red. A.P. Moskalenko [i dr.] - Rostov n/D: Feniks, 2014. - 478 s.

2. Netradicionnye i vozobnovljaemye istochniki jenergii / pod red. V.V. Denisova. - Rostov n/D: Feniks, 2015. - 382 s.

3. Vasil'ev, A.M. Ispol'zovanie zoloshlakovyh othodov v meliorativnom i vodohozjajstvennom stroitel'stve / Melioracija i vodnoe hozjajstvo. - Moskva, 2013. - №3. - S. 115-141.

4. Vasil'ev, A.M. Razvitie regional'noj industrii udobrenij: jenrego-agropromyshlennyj klaster / A.M. Vasil'ev, V.V. Gutenev, V.V. Denisov [i dr.] // Problemy regional'noj jekologii. - Moskva, 2013. - №2. - S. 144-149.

DOI 10.18454/IRJ.2015.41.153

Вдовин К.Н.<sup>1</sup>, Горленко Д.А.<sup>2</sup>, Никитенко О.А.<sup>3</sup>, Феоктистов Н.А.<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Профессор, доктор технических наук, <sup>3,4</sup>кандидат технических наук,

Магнитогорский государственный технический университет

*Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект №15-19-10020)*

### ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СКОРОСТИ ОХЛАЖДЕНИЯ ПРИ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ НА РАЗМЕР АУСТЕНИТНОГО ЗЕРНА ЛИТОЙ СТАЛИ 110Г13Л

*Аннотация*

*В работе исследована зависимость размера зерна аустенита литой стали Гадфильда от значения скорости охлаждения в интервале кристаллизации. Показано, что наиболее равномерная микроструктура формируется при скорости охлаждения равной 4,5 °С/с.*

**Ключевые слова:** сталь Гадфильда, кристаллизация, скорость охлаждения, размер зерна, разнородность.

Vdovin K.N.<sup>1</sup>, Gorlenko D.A.<sup>2</sup>, Nikitenko O.A.<sup>3</sup>, Feoktistov N.A.<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Professor, PhD in Engineering; <sup>3,4</sup>PhD in Engineering

Nosov Magnitogorsk State Technical University

### STUDY OF COOLING RATE DURING CRYSTALLIZATION ON THE AUSTENITE GRAIN SIZE CAST STEEL 110G13L

*Abstract*

*We study the dependence of the grain size of austenite cast Hadfield steel cooling rate from the value in the range of crystallization. It is shown that the most uniform microstructure formed when a cooling rate equal to 4,5 °Cps.*

**Keywords:** Hadfield steel, crystallization, cooling rate, grain size, assorted.

Сталь Гадфильда (110Г13Л), содержащая 9...15 % марганца, широко применяется при производстве деталей, подвергающихся интенсивному абразивному износу, в условиях высоких контактных нагрузок. Такой выбор обусловлен появлением у этой стали повышенной износостойкости под действием нагрузок из-за формирования тонкого упрочненного слоя на поверхности износа, который по мере изнашивания регенерируется в более глубоких слоях. Тем самым в стали обеспечивается контакт абразива с упрочненным слоем в течение всего срока эксплуатации, который ограничивается полным истиранием изделия или его рабочей части.

Основным способом изготовления изделий из этой стали является литье отливок массой от одного до нескольких сотен килограмм с использованием различной литейной оснастки [1,2]. Это находит отражение в формировании различной структуры стали Гадфильда, отличающейся размером зерна металлической основы - аустенита. Известно, что этот параметр микроструктуры существенно влияет как на механические (прочность, относительное удлинение и ударная вязкость), так и на технологические (трещиностойчивость) свойства [3].

Целью данной работы явилось изучение влияния скорости охлаждения на структуру и свойства стали 110Г13Л в литом состоянии.

#### Оборудование, материалы и методика эксперимента

Материалом для исследования явилась сталь Гадфильда с приведенным в таблице 1 химическим составом.

Таблица 1 – Химический состав исследуемой стали, %

C	Si	Mn	S	P	Cr	Ni	Al
1,2	0,9	12,3	0,024	0,033	0,8	0,12	0,06

Для реализации широкого интервала скоростей охлаждения использовали различные формы (сырую и сырую песчано-глинистую форму, кокиль) и массу отливок от 0,05 кг до 0,5 кг. Регистрацию изменения температуры металла проводили с помощью заформованной вольфрам-рентгеновой термопары, запись результатов проводили на приборе LA-50USB с частотой 50 Гц на каждый канал с возможностью одновременной записи по 4 каналам.

Для выявления качественных и количественных характеристик микроструктуры использовали оптический микроскоп Meiji Techno с применением системы компьютерного анализа изображений Thixomet PRO (исследования выполнены в ЦКП НИИ Наносталей при ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова»).

### Обсуждение результатов

Изменение скорости охлаждения в интервале кристаллизации оказывает существенное влияние на микроструктуру исследуемой стали за счет изменения значения степени переохлаждения. Низкая скорость охлаждения при кристаллизации сплава способствует образованию малого количества центров кристаллизации, а сам процесс перехода в упорядоченное состояние происходит за счет высокой скорости роста этих немногочисленных зародышей твердой фазы. С увеличением степени переохлаждения увеличивается разница в свободных энергиях между твердым и жидким состояниями и уменьшается подвижность атомов, это приводит к образованию большего количества зародышей критического размера и формированию мелкозернистой структуры. Разница в скоростях охлаждения при кристаллизации более чем в 20 раз меняет средней номер зерна аустенита на три единицы: со второго (при скорости 1,1 °C/c) до пятого (при скорости 25 °C/c) (рис. 1).

Общий анализ микроструктуры образцов позволит получить зависимость размера зерна аустенита исследуемой стали от скорости охлаждения в интервале ее кристаллизации с высоким коэффициентом достоверности аппроксимации (рис. 2).

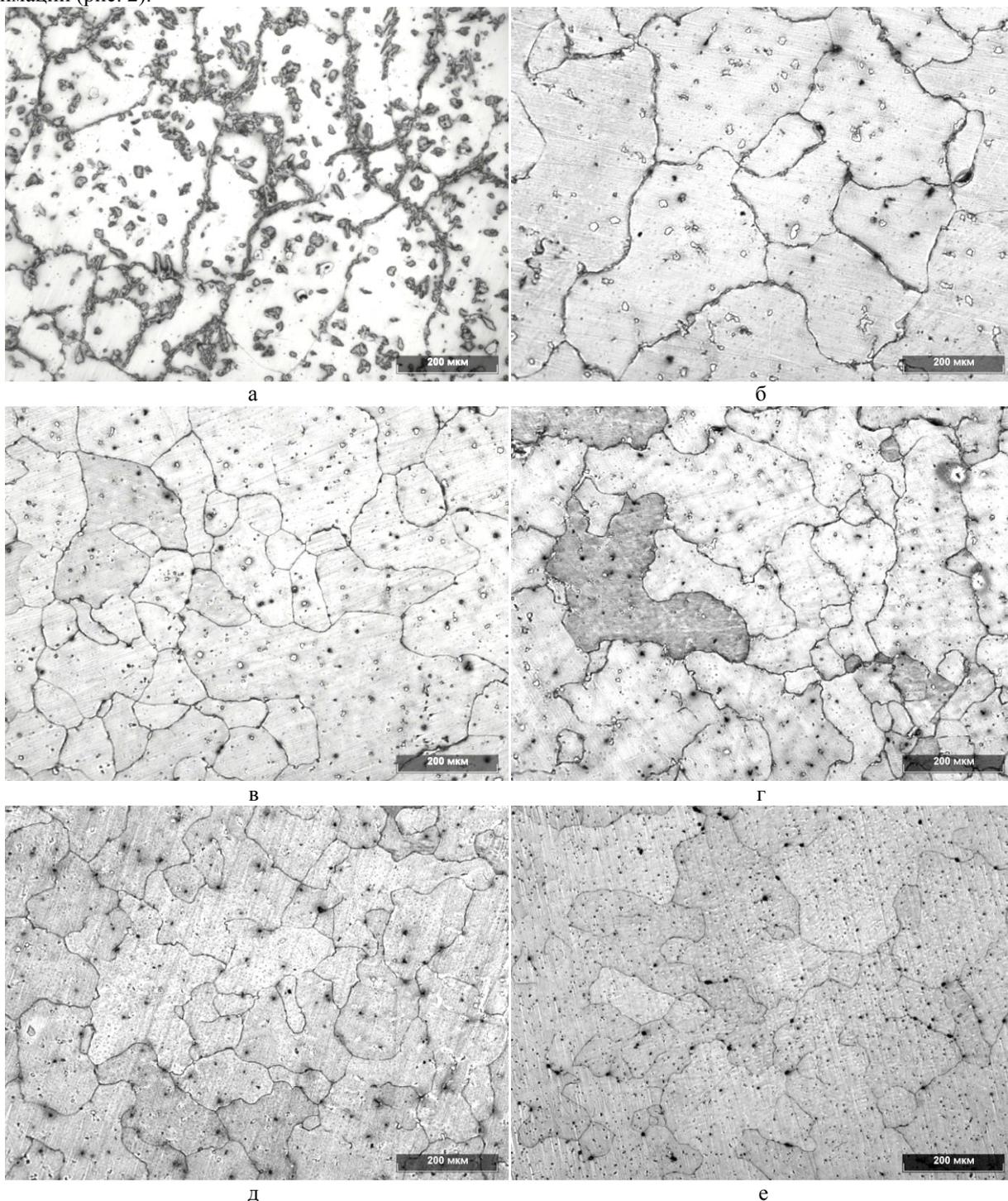


Рис. 1 – Микроструктура стали в литом состоянии, полученная при различных скоростях охлаждения в температурном интервале кристаллизации,  $\times 100$ : а – 1,1 °C/c; б – 1,9 °C/c; в – 3,7 °C/c; г – 4,5 °C/c; д – 8,9 °C/c; е – 25 °C/c

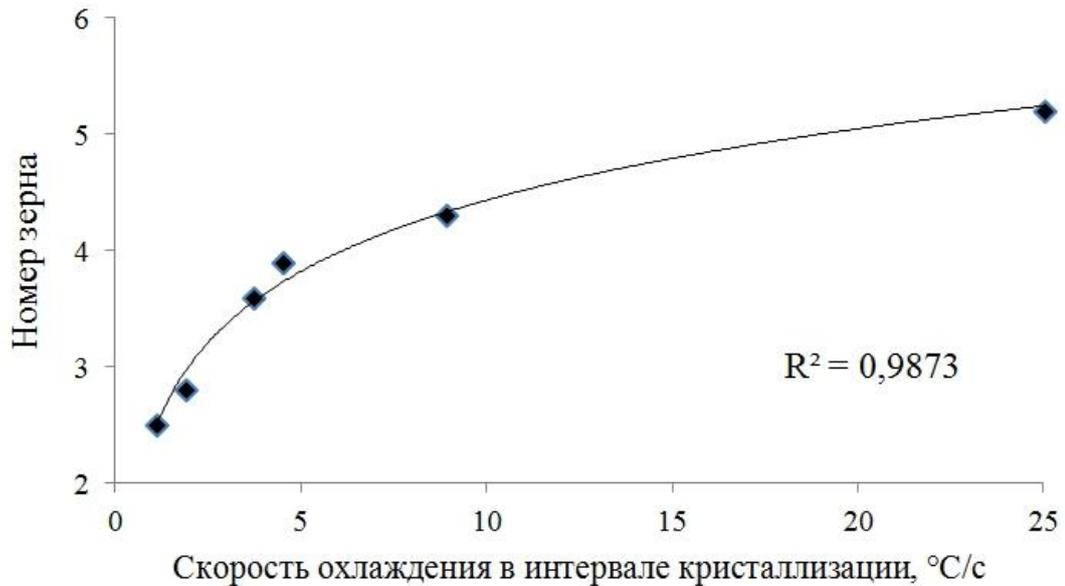


Рис. 2 – Зависимость среднего номера зерна от скорости охлаждения в температурном интервале кристаллизации

На приведенном рисунке видно, что наиболее интенсивное уменьшение размера зерна (более чем на один балл) происходит при увеличении скорости с 1 °C/c до 5 °C/c. При дальнейшем увеличении скорости охлаждения интенсивность уменьшения размера зерна снижается: увеличение скорости охлаждения с 5 °C/c до 25 °C/c приводит к снижению среднего размера зерна на один балл.

Помимо определения среднего размера зерна также было определено влияние скорости охлаждения в исследуемом температурном интервале на количественное соотношение зерен аустенита различных номеров в микроструктуре стали. В зависимости от скорости охлаждения разноразмерность структуры имеет экстремальный характер: наиболее равномерная структура формируется при скоростях охлаждения около 4,5 °C/c. Уменьшение и увеличение скорости относительно этого значения приводит к уменьшению однородности зерна, что отражается на графике нормального распределения (рис. 3).

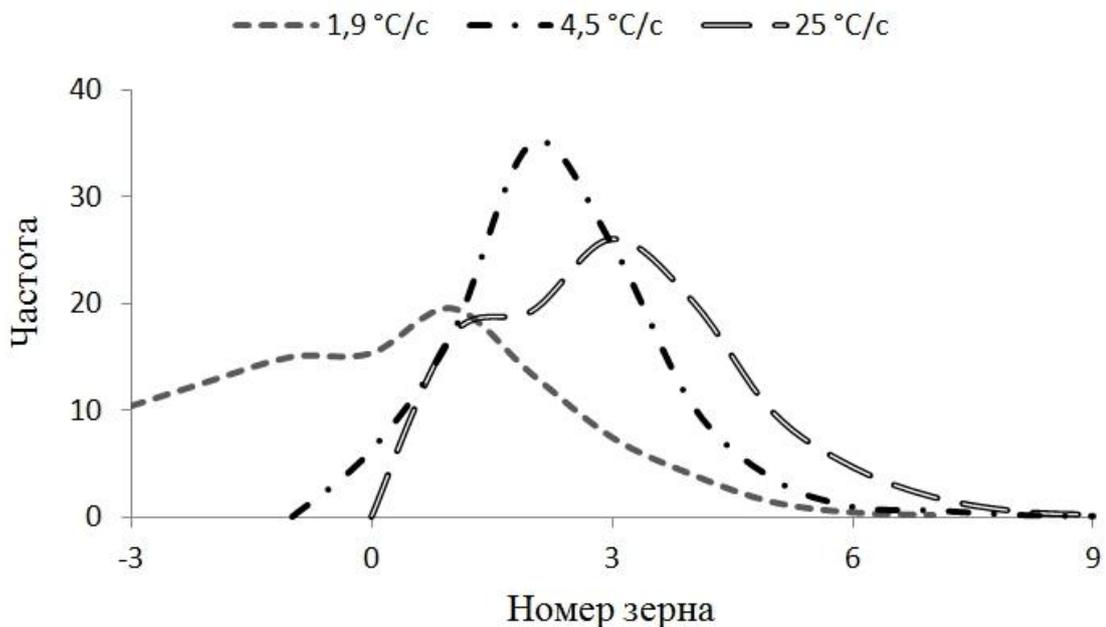


Рис. 3 – График распределения размеров зерен в структуре, формирующейся при некоторых скоростях охлаждения в интервале кристаллизации

Низкая скорость охлаждения (ниже 3,7 °C/c), и, следовательно, низкая степень переохлаждения, приводит к формированию структуры, в которой помимо равномерного роста происходит выборочное увеличение размера отдельных зерен, что растягивает распределение Гаусса. Увеличение скорости охлаждения при кристаллизации до 4,5 °C/c способствует уравниванию влияния скорости роста и скорости зарождения твердой фазы, тем самым происходит равномерное увеличение размера всех образующихся зерен. Высокая скорость охлаждения (более 8,9 °C/c) приводит к увеличению влияния скорости зарождения над скоростью роста зерен аустенита. При формировании такой структуры происходит неравномерный рост некоторого количества зерен и сохранение мелких, рост которых затруднен из-за снижения подвижности атомов, что также увеличивает неравномерность микроструктуры.

**Выводы**

Скорость охлаждения в интервале кристаллизации стали Гадфильда существенно влияет на формирование ее структуры, а именно, на размер аустенитного зерна.

Увеличение скорости охлаждения в исследованном интервале с 1 °С/с до 25 °С/с приводит к росту среднего номера зерна в два раза (до 5 балла).

Наиболее равномерная структура формируется при скорости охлаждения 4,5 °С/с. Увеличение и уменьшение скорости охлаждения относительно этого значения приводит к формированию разнородной структуры.

**Литература**

1. Вдовин, К.Н. Технологический процесс производства брони из стали марки 110Г13Л в условиях ООО «Ремонтно-механический завод» / К.Н. Вдовин, Н.А. Феоктистов, Ш.М. Хабибуллин // Теория и технология металлургического производства. - 2014. - № 1 (14). - С. 51-52.

2. Вдовин, К.Н. Отработка технологии производства и исследование качества литых броней с применением методов неразрушающего контроля / К.Н. Вдовин, Н.А. Феоктистов, Ш.М. Хабибуллин // Литейные процессы. - 2014. - № 13. - С. 75-82.

3. Тен. Э.Б. Влияние внепечной обработки на структуру и механические свойства стали 110Г13Л / Э.Б. Тэн, Т.А. Базлова, Е.Ю. Лихолобов // Металловедение и термическая обработка металлов. – 2015. - №3. – С. 26-28.

**References**

1. Vdovin, K.N. Tehnologicheskiy process proizvodstva bronej iz stali marki 110G13L v usloviyah ООО «Remontno-mehaniicheskiy zavod» / K.N. Vdovin, N.A. Feoktistov, Sh.M. Habibullin // Teorija i tehnologija metallurgicheskogo proizvodstva. - 2014. - № 1 (14). - S. 51-52.

2. Vdovin, K.N. Otrabotka tehnologii proizvodstva i issledovanie kachestva lityh bronej s primeneniem metodov nerazrushajushhego kontrolja / K.N. Vdovin, N.A. Feoktistov, Sh.M. Habibullin // Litejnye processy. - 2014. - № 13. - S. 75-82.

3. Ten. Je.B. Vlijanie vnepechnoj obrabotki na strukturu i mehaniche-skie svojstva stali 110G13L / Je.B. Tjen, T.A. Bazlova, E.Ju. Liholobov // Metallovedenie i termicheskaja obrabotka metallov. – 2015. - №3. – S. 26-28.

DOI 10.18454/IRJ.2015.41.093

Vu Dyk Hoan<sup>1</sup>, Слепцов В.В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Аспирант - МАТИ – Российский государственный технологический университет имени К.Э. Циолковского,

<sup>2</sup>доктор технических наук, профессор, почетный работник высшего профессионального образования, лауреат премии Правительства РФ, заведующий кафедрой «Радиоэлектроника, телекоммуникации и нанотехнологии»

МАТИ – РГТУ имени К.Э. Циолковского

### **АНАЛИЗ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ СОЗДАНИЯ КОНДЕНСАТОРНЫХ СТРУКТУР И ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРЕДЕЛЬНЫХ ЗНАЧЕНИЙ ЭНЕРГОЕМКОСТИ**

**Аннотация**

*В этой статье показана эффективность разделения зарядов, сравнение возможности накопления энергии в химических источниках тока и в двойном электрическом слое, создание принципиально новых автономных «физических» источников тока с накопителями энергии в двойном электрическом слое - этим вопросам посвящен данный раздел. Ионисторы (молекулярные конденсаторы без диэлектрического слоя между электродами) и сверхъёмкие электролитические конденсаторы (СЭК) с диэлектрическим слоем между электродами, перспективы создания и резкого в 5-10 раз повышения энергетических характеристик таких источников обсуждаются в этом разделе. Предложен обзор современных технологий и изучить их теоретические и экспериментальные оптимальные решения, а именно, как можно усовершенствовать уже доступные решения для улучшения технических параметров ТКЯ, уменьшить их площадь, занимаемую в составе электронных устройств, а также встроить в технологические процессы изготовления электронных средств, в том числе в 3D-MID технологию электронных схем на пластике. Автором представлено нарушение электронейтральности приводит к появлению новых энергетических уровней, что позволяет говорить о изменении внутренней энергии наноструктурированной системы. Так же показана ультрабольшая интегральная схема (УБИС) - Типичный пример плотноупакованной наноструктурированной системы.*

**Ключевые слова:** 3D-MID, двухслойных конденсаторов, электрическая энергия, супер конденсаторы.

Vu Duc Hoan<sup>1</sup>, Sleptsov V.V.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Postgraduate – MATI - Russian State Technological University named after KE Tsiolkovsky,

<sup>2</sup>PhD in Engineering, professor, honored worker of higher education, laureate of the Russian government, head of the "Electronics, telecommunications and nanotechnology"

MATI - Russian State Technological University named after KE Tsiolkovsky.

### **ANALYSIS OF THE STRUCTURAL AND TECHNOLOGICAL SOLUTIONS OF CREATION OF CONDENSER STRUCTURES AND THEORETICAL STUDIES OF LIMITING VALUES OF POWER INTENSITY**

**Abstract**

*This article shows the efficiency of charge separation, a comparison of the possibility of accumulation of energy in chemical power sources and electric double layer, the creation of new autonomous "physical" batteries with energy storage in electrical double layer - these issues presented in this section. Electric double layer capacitors (molecular capacitor without the dielectric layer between the electrodes) and Ultra-electrolytic capacitors (SEC) with a dielectric layer between the electrodes, and the prospect of creating a sharp increase of 5-10 times the energy characteristics of these sources are*