

УДК 544-016

Термические превращения литейных высокопрочных сталей (ВНЛ) и жаропрочных сплавов (ВЖЛ) при плавлении и кристаллизации

Л.А. Оборин^а,

Н.А. Бабицкий^б, В.П. Жереб^{б*}

^а *Сибирский аэрокосмический университет*

им. академика М.Ф. Решетнева,

Россия 660014, Красноярск, пр. Красноярский рабочий, 31

^б *Сибирский федеральный университет,*

Россия 660041, Красноярск, пр. Свободный, 79¹

Received 07.12.2012, received in revised form 14.12.2012, accepted 21.12.2012

В статье представлены результаты изучения с помощью термического, микрорентгено-спектрального анализов и растровой электронной микроскопии термических превращений в образцах жаростойких сталей при нагревании и охлаждении.

Ключевые слова: термические превращения, сталь ВНЛ6, сплав ВЖЛ14, гистерезис превращений.

Введение

Литейные жаропрочные сплавы на основе никеля по сравнению с деформируемыми сплавами позволяют достичь в них большого упрочняющего эффекта за счет одновременного наличия трех фаз: γ , γ' и карбидной [1, 2]. В зависимости от состава в литых жаропрочных сплавах на основе никеля согласно [3] образуются следующие фазы:

1. Интерметаллидная γ' -фаза на основе Ni_3Al с кубической гранецентрированной решеткой, имеющей параметры $a=3,56\text{-}3,60 \text{ \AA}$ в зависимости от содержания титана. Количество и характер распределения γ' -фазы в жаропрочных литых сплавах зависит от уровня легирования и скорости охлаждения отливки.

2. Упрочняемая γ -фаза – твердый раствор на основе никеля Ni (Cr , Mo , Co , W). Состав и количество γ -фазы в значительной степени влияют на высокотемпературную газовую коррозию.

3. Карбидные фазы. В зависимости от уровня легирования и термической обработки в литейных жаропрочных сплавах образуются карбидные фазы различного типа. Большая часть углерода связывается в первичный малорастворимый карбид титана TiC . Карбид титана образует с никелем эвтектику. Распределение карбида титана в литой структуре зависит от условий

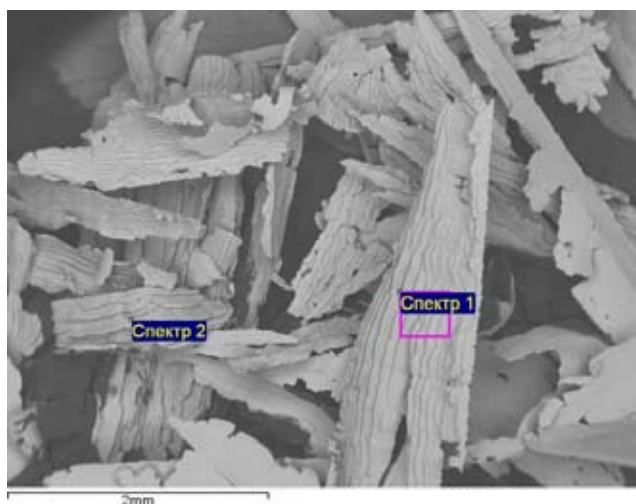
* Corresponding author E-mail address: vpzhereb@rambler.ru

¹ © Siberian Federal University. All rights reserved

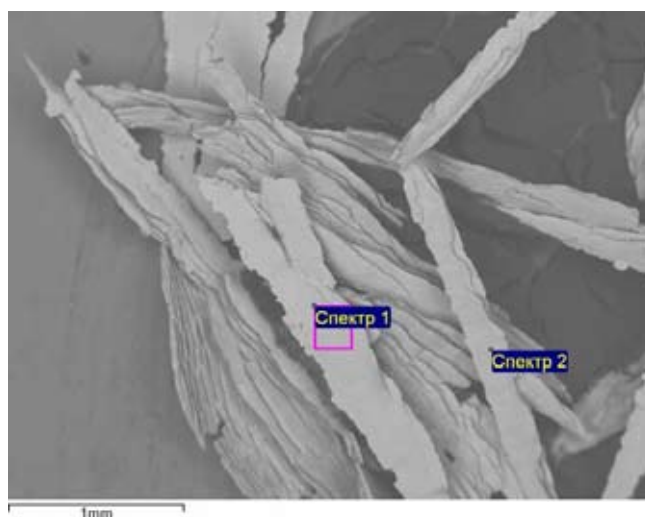
кристаллизации (температуры заливки и скорости охлаждения сплава). При высокой температуре заливки и медленном охлаждении образуются грубые выделения карбидов в виде сетки по границам зерен, а при быстром охлаждении они выделяются в виде мелких образований [4]. Химические элементы, входящие в состав сплава, каждый по своему, также влияют на свойства сплава.

Результаты и их обсуждение

Исследованию подверглись образцы стали ВНЛ6 и сплава ВЖЛ14. Химические составы исследованных образцов этих материалов определены с помощью микрорентгеноспектрального анализа (МРСА) по результатам дисперсионных анализаторов на растровых электронных

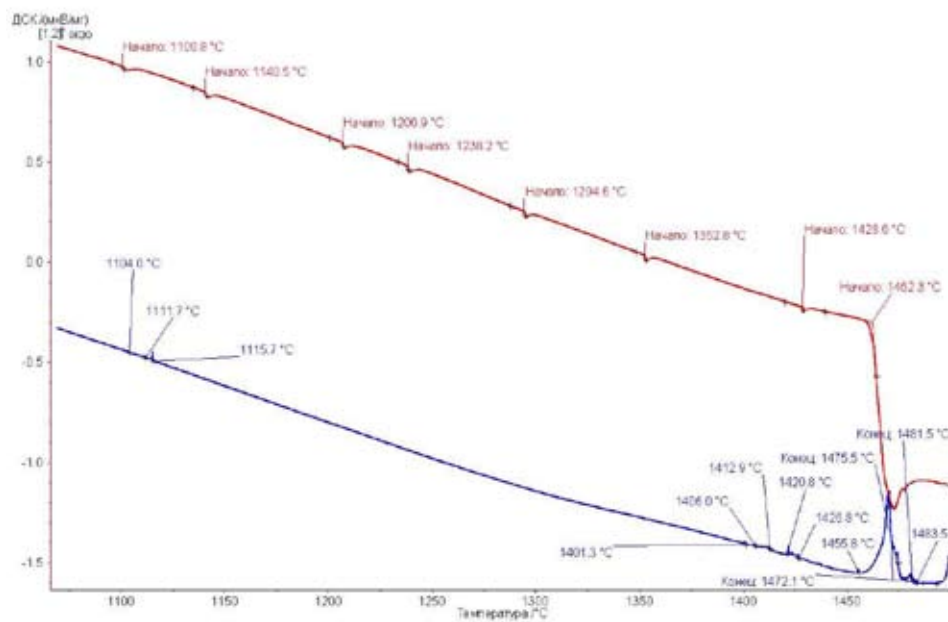


a

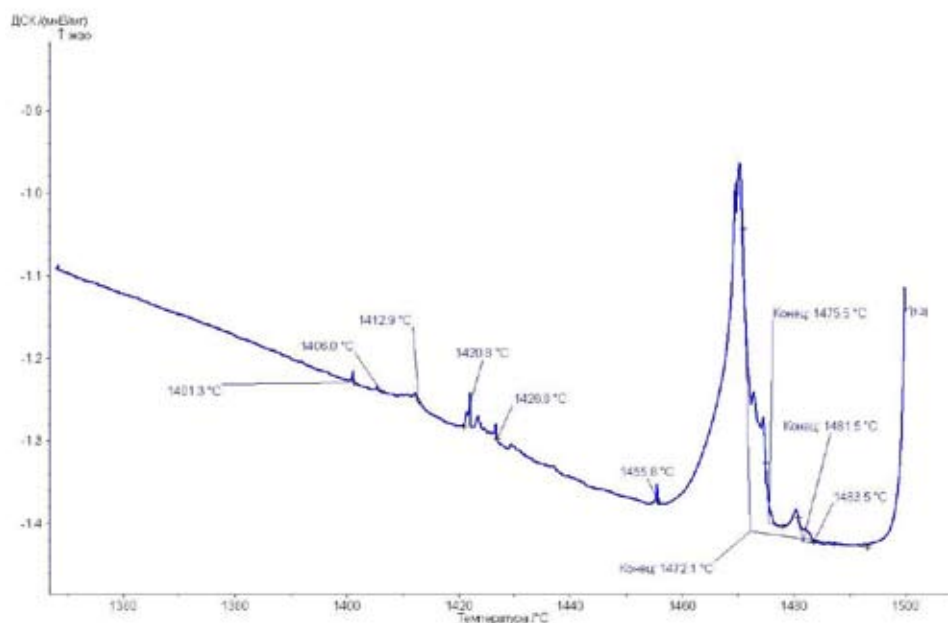


б

Рис. 1. РЭМ – фотографии текстуры поверхности частиц образцов стали ВНЛ6 (*a*) и сплава ВЖЛ14 (*б*)

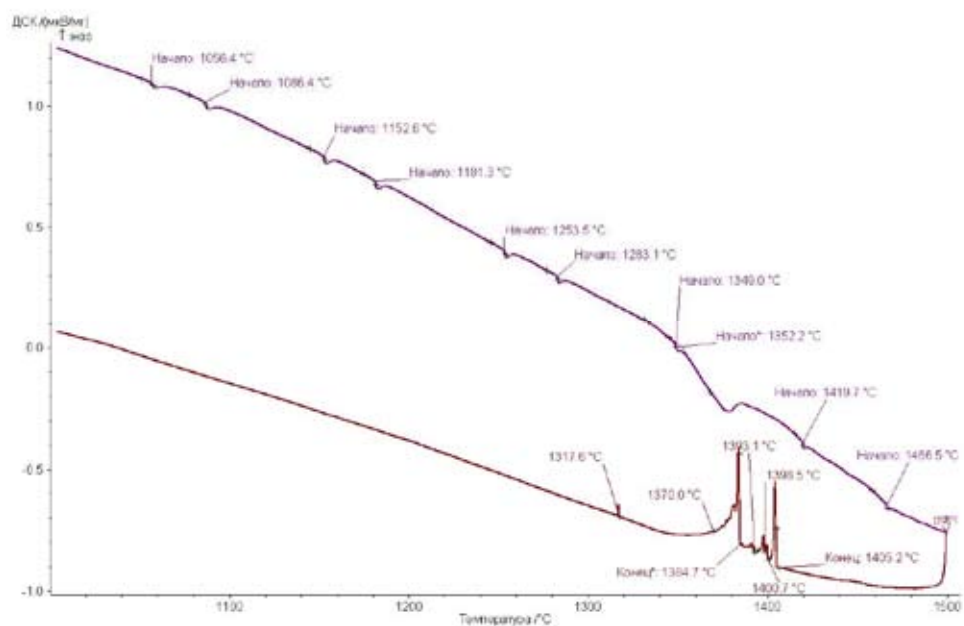


a

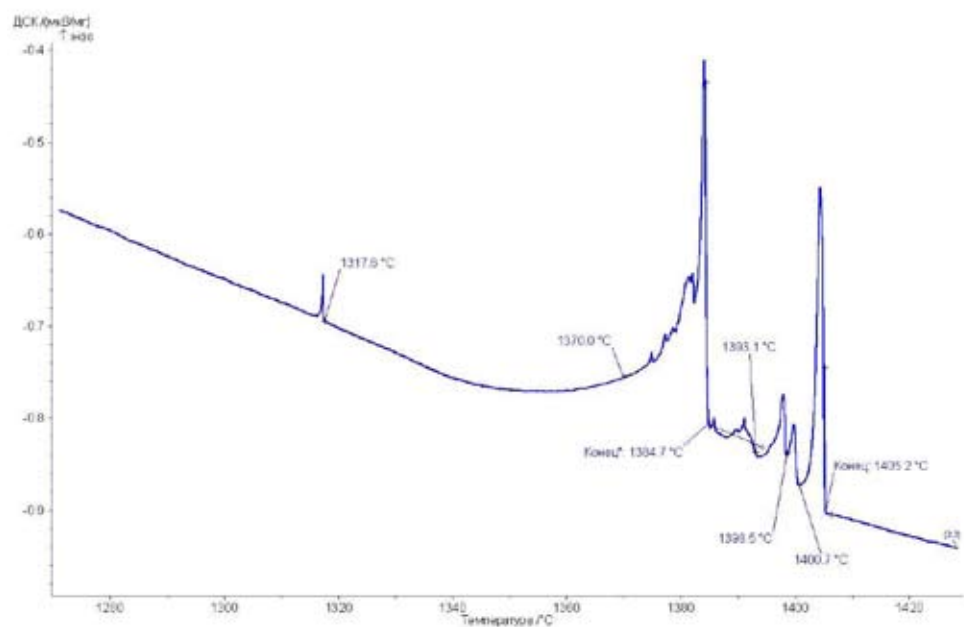


б

Рис. 2. Термограммы нагрева (а – красная кривая) и охлаждения (а – синяя кривая; фрагмент для большего разрешения – б) образца стали ВНЛ6



a



б

Рис. 3. Термограммы нагрева (*a* – красная кривая) и охлаждения (*a* – синяя кривая; фрагмент для большего разрешения – *б*) образца сплава ВЖЛ14

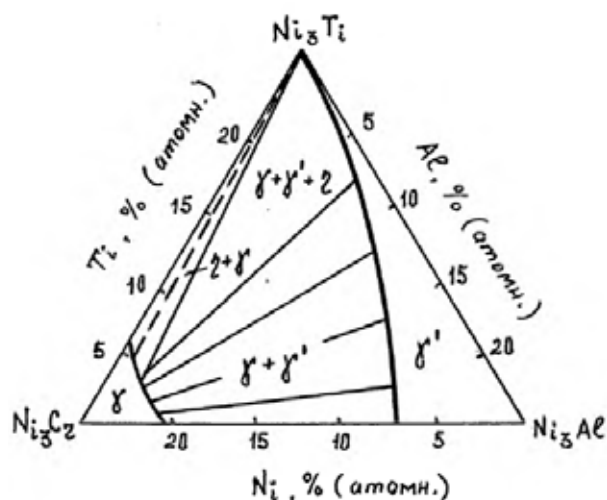


Рис. 4. Изотермический разрез тройной системы, образованной Ni_3Cr – Ni_3Ti – Ni_3Al

микроскопах (РЭМ) HITACHI TM-3000 и ZEISS EVO-50. На рис. 1 представлена полученная с помощью РЭМ текстура исследованных образцов. Результаты электронной микроскопии и МРСА образцов исследованных материалов указывают на высокую однородность их химического состава и микроструктуры, а также на хорошее совпадение состава образцов с элементным составом этих сплавов, указанных в литературе [2, 3].

Для представления процессов, протекающих при кристаллизации расплава в процессе формирования отливки, выполнили дифференциально-термический анализ (ДТА) образцов стали ВНЛ6 и сплава ВЖЛ14 на термоанализаторе Neitzsch STA 449 Jupiter в проточной атмосфере аргона при скорости нагревания–охлаждения 20 К/мин.

Результаты ДТА (рис. 2, 3) указывают на сложную последовательность эндотермических превращений в исследованных образцах при нагревании, а также на отсутствие совпадения последовательности протекания термических превращений и значений соответствующих им температур при охлаждении. Такое поведение образцов следует рассматривать как весьма веское указание на присутствие метастабильных состояний в исследованных сплавах, аналогичных обнаруженным в [5].

Термограммы образцов стали ВНЛ6, полученные при нагревании в интервале от 1100 °С до плавления при температуре 1463 °С и при охлаждении, показаны на рис. 2. Слабый экзотермический эффект на термограмме охлаждения при 1484 °С, не наблюдаемый при нагревании, указывает на некоторое повышение температуры ликвидуса, т.е. на протекание процессов в расплаве, способных повлиять на характер кристаллизации всей отливки.

Аналогичное сложное поведение, показанное на рис. 3, характерно для образцов сплава ВЖЛ14 при нагревании и охлаждении. Последовательность слабых эндотермических эффектов при нагревании этого сплава от 1000 °С до плавления при 1467 °С сменяется значительным переохлаждением расплава при охлаждении и началом кристаллизации при 1405 °С, с последующим каскадом последовательно протекающих превращений, сопровождающихся существенно большими по величине экзотермическими эффектами (рис. 3 б).

Заключение

Как следует из рис. 4, исследованный сплав ВЖЛ14 может состоять из γ , γ' и η фаз, на соотношение которых может существенно повлиять количество и форма присутствия примесей второй фазы, как это отмечено в литературе [6, 7]. В этих условиях возможно сохранение метастабильного состояния сплавов. Результаты ДТА образцов стали ВЖЛ6 позволили обнаружить несовпадение превращений, протекающих в них при нагревании и охлаждении, что дает основание предполагать формирование в исследованной стали метастабильной аустенитно-мартенситной структуры, аналогичной обнаруженной в [5].

Научное исследование выполнено Сибирским федеральным университетом (проект «Фазовые превращения в твердых растворах на основе полиморфных металлов при субкритических температурах в условиях фазового равновесия») в рамках Государственного задания Министерства образования и науки Российской Федерации на оказание услуг (выполнение работ).

Список литературы

- [1] Масленков С.Б. Легирование и термообработка жаропрочных сплавов // МиТОМ. 1977. № 10. С. 52.
- [2] Каблов Е.Н., Голубовский Е.Р. Жаропрочность никелевых сплавов. М.: Машиностроение, 1998. 464 с.
- [3] Кишкин С.Т., Строганов Г.Б., Логунов А.В. Литейные жаропрочные сплавы на никелевой основе. М.: Машиностроение, 1987. 116 с.
- [4] Портной К.Л., Садибеков С.В., Светлов И.Л. Структура и фазовый состав композиционных материалов. М.: Машиностроение, 1979. 225 с.
- [5] Новиков В.И. Исследование и разработка высокопрочных коррозионностойких сталей с регулируемым мартенситным превращением для паяно-сварных узлов криогенной техники: автореф. дис. ... канд. техн. наук. М., 2003. 23 с.
- [6] Jovanovi M. T., Mikovi Z., Lukic B. Microstructure and Stress-Rupture Life of Polycrystal, Directionally Solidified, and Single Crystal Castings of Nickel-Based IN 939 Superalloy // Materials characterization. 1998. V. 40. P. 261–268.
- [7] Takasugi T., Izumi O., Masahashi N. Electronic and structural studies of grain boundary strength and fracture in $L1_2$ ordered alloys-II. on the effect of third elements in Ni_3Al alloy // Acta metall. 1985. V. 33. №. 7. P. 1259-1269.

The Thermal Transformations of Foundry High-Temperature Oxidation-Resistant Steels During the Melting and the Crystallization

**Lev A. Oborin^a,
Nikolay A. Babitskiy^b and Vladimir P. Zhereb^b**

*^aSiberian State Aerospace University
named after academician M.F. Reshetnev
31 Krasnoyarsky Rabochy, Krasnoyarsk, Russia 660014*

*^bSiberian Federal University,
79 Svobodny, Krasnoyarsk, Russia 660041*

In the article the results of study with the aid of the thermal analysis, microradiography and the scanning electron microscopy of thermal transformations in the models of high-temperature oxidation-resistant steels with the heating and the cooling are represented.

Keywords: thermal transformations, steel ВНЛ6 and ВЖЛ14.
