

Bulat Anatoliy – Academic NAS of Ukraine, Director of Institute of Geotechnical Mechanics N. S. Polyakov NAS; str. Simferopol, 2a, Dnepropetrovsk, Ukraine, 49005; tel.: (0562) 47-37-21, e-mail: vaivan@ukr.net.

Иванов Валерий Анатольевич – Кандидат технических наук, Институт геотехнической механики им. Н. С. Полякова НАН Украины, доцент, Отдел проблем разработки месторождений на больших глубинах, ул. Симферопольская, 2а, г. Днепропетровск, Украина, 49005; тел.: (0562) 47-37-21; e-mail: vaivan@ukr.net.

Іванов Валерій Анатолійович – Кандидат технічних наук, Інститут геотехнічної механіки ім. Н. С. Полякова НАН України, доцент, Відділ проблем розробки родовищ на великих глибинах; вул. Сімферопольська, 2а, м. Дніпропетровськ, Україна, 49005; тел.: (0562) 47-37-21; e-mail: vaivan@ukr.net.

Ivanov Valery – PhD, Institute of Geotechnical Mechanics N. S. Polyakov NAS, Associate Professor, Division problems mining at great depths, str. Simferopol, 2a, Dnepropetrovsk, Ukraine, 49005; tel.: (0562) 47-37-21.

Голов Константин Сергеевич – Кандидат технических наук, Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАН Украины, Отдел проблем разработки месторождений на больших глубинах, ул. Симферопольская, 2а, г. Днепропетровск, Украина, 49005; тел.: (0562) 47-37-21; e-mail: klipsch@ukr.net.

Голов Костянтин Сергійович – Кандидат технічних наук, Інституту геотехнічної механіки ім. Н.С. Полякова НАН України, Відділ проблем розробки родовищ на великих глибинах, вул. Сімферопольська, 2а, м. Дніпропетровськ, Україна, 49005; тел.: (0562) 47-37-21; e-mail: klipsch@ukr.net.

Golov Konstantine – Candidate of Technical Sciences, Institute of Geotechnical Mechanics. N.S. Polyakov NAS, Division problems mining at great depths, str. Simferopol, 2a, Dnepropetrovsk, Ukraine, 49005; tel.: (0562) 47-37-21.

Ткаченко Владимир Андреевич – доктор технических наук, профессор, Днепропетровский университет им. Альфреда Нобеля, ул. Набережная Ленина, 18, Днепропетровск, Украина, 49005; тел.: (056) 370-36-21.

Ткаченко Володимир Андрійович – доктор технічних наук, професор, Дніпропетровський університет ім. Альфреда Нобеля, вул. Набережна Леніна, 17, Дніпропетровськ, Україна, 49005; тел.: (056) 370-36-21.

Vladimir Tkachenko – doctor of technical sciences, professor, Alfred Nobel University Dnepropetrovsk, Naberezhna Lenina str., 18 Dnepropetrovsk, Ukraine, 49005; tel.: (056) 370-36-21; e-mail: abit@duep.edu.

Степаненков Евгений Иванович – Ведущий инженер, Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАН Украины, Отдел проблем разработки месторождений на больших глубинах, ул. Симферопольская, 2а, г. Днепропетровск, Украина, 49005, тел.: (0562) 47-37-21, e-mail: vaivan@ukr.net.

Степаненков Євгеній Іванович – Провідний інженер, Інституту геотехнічної механіки ім. Н. С. Полякова НАН України, Відділ проблем розробки родовищ на великих глибинах, вул. Сімферопольська, 2а, м. Дніпропетровськ, Україна, 49005; тел.: (0562) 47-37-21; e-mail: vaivan@ukr.net.

Stepanenko Evgeniy – Senior engineer, Institute of Geotechnical Mechanics. N. S. Polyakov NAS, Division problems mining at great depths str. Simferopol, 2a, Dnepropetrovsk, Ukraine, 49005; tel.: (0562) 47-37-21.

УДК 669.15:669.162.1

А. Н. ПАНЧЕНКО, Н. В. СУСЛО, А. С. ИВАНОВ

ПРИМЕНЕНИЕ ЭКОНОМНОЛЕГИРОВАННЫХ СТАЛЕЙ ДЛЯ ДЕТАЛЕЙ, РАБОТАЮЩИХ В УСЛОВИЯХ АБРАЗИВНОГО ИЗНОСА И ТЕРМОЦИКЛИЧЕСКИХ НАГРУЗОК

Изложены результаты исследования возможности замены дорогостоящих высоколегированных хромоникелевых сталей для деталей, работающих в сложных термоциклических условиях и действии абразивного износа экономнолегированными безникелевыми сталями. Предложено легирование этих сталей марганцем и азотом взамен никеля для получения однофазной аустенитной структуры. При определении необходимого количества азота, учтена его растворимость в экономнолегированной стали, которая составляет 0,37 %, что позволяет получить в предлагаемой стали аустенитную структуру.

Ключевые слова: экономнолегированная сталь, азот, легирование, термоциклические нагрузки, абразивный износ, окатыши, аустенитная структура.

Введение. Как показывает практика, для изготовления деталей, работающих в условиях высоких циклически изменяющихся температур с одновременным абразивным износом, используют высоколегированные хромоникелевые стали. В металлургическом производстве к таким процессам относятся, в первую очередь, обжиг окатышей и спекание агломерата на машинах конвейерного типа. Особенностью таких машин является применение для изготовления колосников, бортов тележек и других конструктивных узлов дорогостоящих сталей, содержащих от 2 до 12 % никеля и 22-28 % хрома. При этом стойкость деталей из этих сталей составляет 6 – 8 месяцев, что приводит к снижению технико-экономических показателей работы конвейерных машин. Поэтому, поиск альтернативных экономнолегированных сталей для работы в

сложных высокотемпературных условиях является актуальным.

Анализ литературных данных и постановка проблемы. Для повышения эксплуатационных свойств сталей, работающих в условиях термоциклических нагрузок и абразивного износа, рядом ученых [1-4] предложено их легирование азотом.

Для обеспечения коррозионной стойкости сталей азот вводится взамен никеля в соотношении 1:27 [4]. Одной из основных задач при производстве азотсодержащих коррозионностойких сталей является стабильное азотирование расплава. Процесс стабилизации азотирования расплава рассматривается на основе

механизма поглощения сталью азота из азот-кислородной газовой фазы [4]. Сущность этого механизма заключается в существовании в приграничной области газ-металл активных форм азота, в том числе, в виде CN , NO_x , и других.

Исследовался [5] процесс раскисления и модифицирования коррозионностойких сплавов на основе хрома и никеля алюминием и титаном. Авторы обосновали, необходимость содержания хрома до 40%, алюминия до 0,65% и титана до 0,37 %. Увеличение концентраций алюминия и титана сопровождается повышением пластических характеристик и коррозионной устойчивости сплавов.

Установлена [6, 7] возможность создания экономнолегированных жаростойких сталей и сплавов, разработаны новые марки сталей 10X14Г14Н4Т, 10X14АГ15 и др., а также проведены исследования химического и фазового состава окалины и подокисных слоев. У сталей с марганцем содержание хрома на поверхности металла и в окалине меняется незначительно. Содержание же марганца в окалине снижается. Преимущество хромомарганцовистых сталей с азотом, связано не только с повышением защитных свойств окалины, но и участием азота в образовании окалины, что препятствует выгоранию хрома.

Исследованиями О. Кубашевского и Б. Гопкинса [8], а также нашими исследованиями условий эксплуатации рабочих органов конвейерных машин [9-11], установлено существенное влияние состава и структуры образующейся окалины. Отмечается [12] положительное влияние на жаростойкость сталей алюминия и кремния. По данным [13], алюминий и кремний повышают устойчивость стали против воздействия агрессивных сред (в том числе и серы) при высоких температурах.

На основе анализа работ [6, 14, 15], можно сформулировать основные принципы легирования жаростойких сталей для деталей работающих в условиях термоциклических температур и абразивного износа:

- принципиально возможна замена дорогостоящего никеля аустенитообразующими марганцем и азотом [7];

- с целью получения аустенитной структуры, содержание хрома не должно превышать 15 %, а содержание углерода – не менее 0,2 % [14];

- для дальнейшего повышения жаростойкости стали целесообразно ее легировать алюминием, кремнием, и титаном (последний вводится в жаростойкие стали с целью измельчения зерна и связывания углерода в тугоплавкий карбид TiC) [15].

Цель и задачи исследования. Целью работы является исследование возможности замены дорогостоящих высоколегированных хромоникелевых сталей экономнолегированными, содержащими азот.

Задачей исследования является обоснование применения безникелевых сталей с азотом в условиях высоких термоциклических нагрузок и абразивного износа.

Основной материал и результаты исследования применения азота в экономнолегированных сталях. На металлургических предприятиях г. Кривого Рога (ПАО «СевГОК», ПАО «ЦГОК», ПАО «АрселорМиттал Стил») в условиях обжига окатышей и спекания агломерата на конвейерных машинах при-

меняют сменные детали, изготовленные из высоколегированных марок стали 40X24H12СЛ и 75X28H2СЛ. Как альтернатива вышеупомянутым маркам, нами разработана азотсодержащая сталь 30X14Г8АЮ2ТЛ [16] со следующим химическим составом, %: Cr – 14-16; Mn – 6-8; Al – 1,5-2,5; C – 0,2-0,4; Si – 0,5 – 1,5; Ti – 0,03 – 0,1; N – 0,15 – 0,2.

Фазовый состав сталей 40X24H12СЛ, 75X28H2СЛ и 30X14Г8АЮ2ТЛ рассчитывался по формулам П. Н. Бидули [17], в которых учитывается как содержание азота (при расчете эквивалентного содержания никеля), так и алюминия (при расчете эквивалентного содержания хрома):

$$Ni_{\text{экр}} = \%Ni + 30\%C + 0,5\%Mn + 12\%N \quad (1)$$

$$Cr_{\text{экр}} = \%Cr + \%Mo + 1,5\%Si + 0,5\%Nb + 0,8\%W + 1,5\%V + 4\%Ti + 3,5\%Al \quad (2)$$

Для стали по патенту [16] рассчитанные по формулам (1) и (2) эквивалентные содержания $Ni_{\text{экр}} = 16,9$ и $Cr_{\text{экр}} = 21,7$, согласно диаграмме Шеффлера [15], соответствуют аустенитной структуре в то время, как применяемые стали 40X24H12СЛ и 75X28H2СЛ имеют двухфазную аустенито-ферритную структуру.

Получение стабильной аустенитной структуры в стали 30X14Г8АЮ2ТЛ достигается введением в ее состав взамен никеля аустенитообразующих элементов азота и марганца, причем, следует учитывать, что растворимость азота в стали носит ограниченный характер.

Для расчета растворимости азота в стали 30X14Г8АЮ2ТЛ использовали параметры взаимодействия Вагнера [18]:

$$\lg[N]_{\text{ст}} = \lg 0,45 - e_N^{Cr}[Cr] - e_N^{Mn}[Mn] - e_N^{Si}[Si] - e_N^{Al}[Al] - e_N^{Ti}[Ti]$$

$$\lg[N]_{30X14Г8АЮ2ТЛ} = -1,3468 + 0,047 \cdot 14 + 0,02 \cdot 8 - 0,048 \cdot 1,2 + 0,028 \cdot 2 + 0,52 \cdot 0,2 = -0,426 \quad (3)$$

$$\lg[N]_{30X14Г8АЮ2ТЛ} = -0,4264;$$

что соответствует максимальной растворимости азота:

$$a[N]_{30X14Г8АЮ2ТЛ} = 0,37 \%$$

В соответствии с патентом [16] содержание в стали азота равное 0,15 – 0,2 % не превышает максимально возможного – 0,37 %.

Выводы

1. Показана возможность применения азота (с учетом его растворимости) при синтезе безникелевых сталей, работающих в условиях высоких термоциклических нагрузок и абразивного износа.

2. Установлено, что получение стабильной аустенитной структуры сталей, работающих при высоких термоциклических нагрузках в условиях абразивного износа достигается за счет легирования марганцем и азотом.

3. Получение однофазной аустенитной структуры в стали 30X14Г8АЮ2ТЛ способствует повышению ее эксплуатационных характеристик, по сравнению с двухфазными аустенито-ферритными сталями 40X24H12СЛ и 75X28H2СЛ, что подтверждает возможность использова-

ния экономнолегированных азотсодержащих сталей вместо дорогостоящих хромоникелевых.

Авторы признательны академику АН СССР Гасику М. И. за научную поддержку при проведении работ по разработке экономнолегированных марок сталей.

Список литературы: 1. Костина, М. В. Развитие принципов легирования Cr-N сталей и создание коррозионностойких сталей нового поколения со структурой азотистого мартенсита и аустенита для высоконагруженных изделий современной техники. [Текст]: диссертация доктора техн. наук / М. В. Костина; Москва: ИМЕТ РАН. – 2003. – 229 с. 2. Шитов, Е. В. Экономнолегированные азотсодержащие марки стали [Текст] / Е. В. Шитов, Э. Ю. Колпишон // Фундаментальные исследования в технических университетах Материалы X Всероссийской конференции по проблемам и высшей школы 18-19 мая 2006 года, Санкт-Петербург – СПб Изд-во Политехнического Университета. – 2006. – С. 359-360. 3. Капуткина, Л. М. Исследование структуры деформированных высокомедистых нержавеющей сталей с азотом [Текст] / Л. М. Капуткина, А. Г. Свяжгин, В. Г. Прокошклина, Д. В. Кремянский, М. Г. Медведев // Сб. тезисов межд. конф. «Прогрессивные технологии пластической деформации». – Москва: МИСИС. – 2009. – С. 314. 4. Кац, Л. Н. Основные проблемы производства и применения азотсодержащих коррозионностойких сталей [Текст] / Л. Н. Кац, В. А. Григорян // Материалы второй республиканской конференции «Пути рационального использования легирующих элементов и улучшение качества металла при электроплавке стали. – Днепропетровск: Городская типография. – 1983. – № 3/ – С. 57–58. 5. Раскисление и модифицирование коррозионностойких сплавов на основе никеля [Текст] / А. А. Телякова, С. А. Иодковский, В. Б. Николаев [и др.] // Материалы второй республиканской конференции «Пути рационального использования легирующих элементов и улучшение качества металла при электроплавке стали. – Днепропетровск: Городская типография. – 1983. – № 3. – С. 51–52. 6. Козлова, Н. Н. Пути создания экономнолегированных жаростойких сталей и сплавов [Текст] / Н. Н. Козлова, Е. В. Доронина, Ю. И. Матросов // Проблемы современной металлургии. Сборник научных трудов ЦНИИЧермет. – М.: Металлургия, 1982. – С. 169-173. 7. Стали с пониженным содержанием никеля [Текст]: Справочник. Государственный научно-экономический совет Совета Министров СССР, ГЛАВНИИПРОЕКТ, ЦНИИ черной металлургии им. Бадина, Институт качественных сталей. – М.: Металлургиздат, 1961. – 200 с. 8. Кубашевский, О. Окисление металлов и сплавов. Пер. с англ. Издание второе [Текст] / О. Кубашевский, Б. Гопкинс. – М.: Металлургия, 1965. – 428 с. 9. Влияние технологического режима работы обжиговой машины на стойкость колосников [Текст] / А. Д. Учитель, А. Н. Панченко, А. С. Иванов, Н. Г. Грибенко // Нові технології. Науковий вісник КУ-ЕГТУ. – 2008. № 4 (22). – С. 199–202. 10. Панченко, А. Н. Влияние состава шихтовых материалов для производства окатышей на стойкость литых колосников обжиговых машин [Текст] / А. Н. Панченко // Университетская наука – 2009 (г. Мариуполь. 19–20 мая 2009 г.): сборник докладов – Мариуполь: Приазовский государственный технический университет. – 2009. – С. 145. 11. Панченко, А. Н. Влияние окислов щелочных металлов на стойкость колосников обжиговых машин [Текст] / А. Н. Панченко // Стратегия качества в промышленности и образовании (г. Варна, 6–13 июня 2009 г.): сб. трудов V Международной конференции. – Болгария. – 2009. – Т. 1. – С. 723–728. 12. Ланская, К. А. Высокохромистые жаропрочные стали: Учебник для ВУЗов [Текст] / К. А. Ланская. – М.: Металлургия, 1976. – 216 с. 13. Гудремон, Э. Специальные стали [Текст] / Э. Гудремон. – М.: Металлургия, 1966. – 736 с. 14. Приданцев, М. В. Высокопрочные аустенитные стали [Текст] / М. В. Приданцев, Н. П. Талов, Ф. Л. Левин. – М.: Металлургия, 1969. – 248 с. 15. Коломбье, Л. Нержавеющие и жаропрочные стали [Текст] / Л. Коломбье, И. Гохман; пер. с французского А. М. Ладогин. – М.: Государственное

научно-техническое издательство литературы по черной и цветной металлургии, 1958. – 479 с. 16. Патент 68548 Україна, МПК⁷ C22C38/00. Жаростійка сталь [Текст] / Панченко Г. М., Учитель О. Д., Гасик М. І. – № u2011 11945; заявл. 11.10.11; опубл. 26.03.12, Бюл. № 6. 17. Бидуля, П. Н. К вопросу о выплавке стали с заданным фазовым составом [Текст] / П. Н. Бидуля, С. А. Иодковский, Н. Н. Сачихин // Литейное производство. – 1961, №6. – С. 1–4. 18. Физико-химические расчеты электросталеплавильных процессов: Сборник задач с решениями [Текст] / В. А. Григорян, А. Я. Стомохин, Ю. И. Уточкин [и др.] – 2е изд., пер. и доп. – М.: МИСИС, 2007. – 318 с.

Bibliography (transliterated): 1. Kostina, M. (2003). The development of the principles of the doping Cr-N steels and stainless steels creation of a new generation with the structure of nitrogen martensite and austenite for heavy products of modern technology. dissertatsiya doktora tehn. nauk. Moscow IMET RAS, 229. 2. Shitov, E., Kolpishon, E. (2006). Sparingly alloyed nitrogen steels. Fundamental research in technical universities Proceedings of X All-Russia conference on problems and high school on May 18-19, 2006, St. Peterburg Publishing House of the Polytechnic University, 359-360. 3. Kaputkina, L., Svyazhin, A., Prokoshkina, V., Kremiansky, D., Medvedev, M. (2009). Investigation of the structure of deformed high cupriferous stainless steels with nitrogen. Moscow: MISA, 314. 4. Katz, L., Grigoryan, V. (1983). Main problems of production and application of nitrogen-containing corrosion-resistant steel. Proceedings of the Second National Conference "Ways of rational use of alloying elements and improve the quality of metal in the steel electrofusion. Dnepropetrovsk: Urban typography, 3, 57-58. 5. Teplyakova, A., Iodkovsky, S., Nikolaev, V. [et al.] (1983). Deoxidation and modification of corrosion-resistant nickel-based alloys. Proceedings of the Second National Conference "Ways of rational use of alloying elements and improved quality metal at electrofusion steel. Dnepropetrovsk: Urban typography, № 3, 51–52. 6. Kozlov, N., Doronin, E., Sailors, Y. (1982). Towards an sparingly alloyed heat-resistant steels and alloys. Problems of modern metallurgy. Collection of scientific works CRI of Ferrous Metallurgy. Moscow: Metallurgy, 169–173. 7. State Scientific and Economic Council of the Council of Ministers of the USSR, CRP, Central Research Institute of Ferrous Metallurgy. Bardin Institute of high-quality steels. (1961). Handbook. Steel with lower nickel content. Moscow: Metallurgy, 200. 8. Kubaschewski, O., Hopkin, B. (1965). The oxidation of metals and alloys. Trans. from English. Second Edition. Moscow: Metallurgy, 428. 9. Uchitel, A., Panchenko, A., Ivanov, A., Gribenko, N. (2008). The impact of technological mode of roasting machines for resistance grate. New technologies. Scientific Herald of KUEITM, № 4 (22), 199–202. 10. Panchenko, A. (2009). Influence of the composition of the raw materials for the production of pellets in the resistance cast grates roasting machines. University science. (Mariupol. May 19-20, 2009): collection of reports – Mariupol: Azov State Technical University, 145. 11. Panchenko, A. (2009). Influence of alkali metal oxides infusion-bone grates roasting machines. Quality Strategy in Industry and Education (Varna, 6-13 June 2009): Collection of papers of V International Conference. Bulgaria, T. 1, 723–728. 12. Lansky, K. (1976). High-chromium heat-resistant steel: Textbook for High Schools. Moscow: Metallurgy, 216. 13. Gudremont, E. (1966). Special Steel. Moscow: Metallurgy, 736. 14. Pridantsev, M., Talov, P., Levin, F. (1969). High austenitic steels. Moscow: Metallurgy, 248. 15. Colombier, L., Hochman, I., per. French, A. Ladogina. (1958). Stainless and heat resistant steel. Moscow: State Science and Technology Publishing House of ferrous and nonferrous metallurgy, 479. 16. Ukraine Patent 68548, MPK⁷ S22S38 / 00. Heat-resistant steel / A. Panchenko, A. Uchitel, M. Gasik – № u2011 11, 945; appl. 11.10.11; publ. 26.03.12, Bul. 6. 17. Bidulya, P., Iodkovsky, S., Saschihin, N. (1961). On the issue of steel production with a given phase composition. Foundry, №6, 1–4. 18. Grigoryan, V., Stomohin, A., Utochkin, U. [et al.] (2007). Physico-chemical calculations of the EAF process: Collection of problems with the decisions of the. 2nd ed., Trans. and add. Moscow: MISA, 318.

Поступила (received) 24.10.2015

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Панченко Ганна Миколаївна – кандидат технічних наук, Криворізький металургійний інститут державного вищого навчального закладу «Криворізький національний університет», доцент кафедри "Металургійних технологій"; адрес: 50005, Україна, м. Кривий Ріг, вул. Революційна, 5; тел.: 067-638-62-26;

Панченко Анна Николаевна – кандидат технических наук, Криворожский металлургический институт государственного высшего учебного заведения «Криворожский национальный университет», доцент кафедры "Металлургических технологий"; адрес: 50005, Украина, м. Кривой Рог, ул. Революционная, 5;

Panchenko Anna – candidate technical sciences, Krivoy Rog Iron and Steel Institute, the state higher academic institution "Kryvyi Rih National University," Associate Professor of "metallurgical technologies"; Address: 50005,

Ukraine, Krivoy Rog, Revolutionary Str., 5; e-mail: anechek@inbox.ru.

Сусло Наталія Валеріївна - кандидат технічних наук, Криворізький металургійний інститут державного вищого навчального закладу «Криворізький національний університет», доцент кафедри "Металургійних технологій"; адрес: 50005, Україна, м. Кривий Ріг, вул. Революційна, 5; e-mail: suslo_n-v@mail.ru.

Сусло Наталия Валериевна - кандидат технических наук, Криворожский металлургический институт государственного высшего учебного заведения «Криворожский национальный университет», доцент кафедры "Металлургических технологий"; адрес: 50005, Украина, м. Кривой Рог, ул. Революционная, 5;

Suslo Nataliya - candidate technical sciences, Krivoy Rog Iron and Steel Institute, the state higher academic institution "Kryvyi Rih National University," Associate Professor of "metallurgical technologies"; Address: 50005, Ukraine, Krivoy Rog, Revolutionary Str., 5; tel.: 067-595-90-45; e-mail: suslo_n-v@mail.ru.

Іванов Андрій Сергійович - заступник головного інженера фабрики орудкування публічного акціонерного товариства «Центральний гірничозбагачувальний комбінат», адреса: 50066, Україна, м. Кривий Ріг, ПАТ «ЦГЗК»; тел. 097-329-31-77, e-mail: scroffer83@gmail.com

Иванов Андрей Сергеевич - заместитель главного инженера фабрики окомкования публичного акционерного общества «Центральный горнообогатительный комбинат», адрес: 50066, Украина, м. Кривой Рог, ПАО «ЦГОК»; тел. 097-329-31-77, e-mail: scroffer83@gmail.com.

Ivanov Andrey - Deputy Chief Engineer Factory pelletizing public joint-stock company "Central ore processing plant" Address: 50066, Ukraine, Krivoy Rog, Public Joint-Stock Company «CGOK»

УДК 621.74: 669.14

А. В. КАЛИНИН

ОСОБЕННОСТИ НАНОМОДИФИЦИРОВАНИЯ МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ СПЛАВОВ

Разработана технология модифицирования алюминиевых и никелевых сплавов нанодисперсными композициями. Построены сравнительные гистограммы механических свойств деформированных алюминиевых сплавов до и после модифицирования. Обоснованный выбор типа наномодификатора и способ его таблетирования. Для алюминиевых сплавов рекомендован нанодисперсный карбид кремния β -SiC, для никелевых сплавов - нанодисперсный карбонитрид титана TiCN фракцией 50...100 нм. В модифицированных сплавах получено значительное измельчение дендритной и зеренной структуры. В результате модифицирования достигнуто повышение механических свойств.

Ключевые слова: наномодификаторы, химический состав, механические свойства, неметаллические включения, многокомпонентные сплавы, карбонитрид титана, карбид кремния.

Введение. Разработка изделий ответственного назначения для металлургии и машиностроения ставит задачи повышения механических свойств, жаропрочности, жаростойкости, коррозионной стойкости и эксплуатационных свойств конструкционных материалов.

Деформируемые алюминиевые сплавы применяются для изготовления деталей сложной конфигурации, имеющих высокие показатели механических свойств в термически обработанном состоянии, высокую коррозионную стойкость и малый удельный вес, что обуславливает их перспективность для современного машиностроения.

Однако недостаточная технологичность при литье и механической обработке сдерживает широкое применение алюминиевых сплавов как конструкционных материалов. Низкая технологичность объясняется повышенным газосодержанием и наличием хрупких и труднорастворимых фаз: FeAl_3 , Mg_2Si , MgZn_2 , выделяющихся в виде крупных скоплений и часто образующих сплошную сетку в структуре, которые служат причиной трещинообразования при литье слитков и фасонных отливок [1].

Анализ литературных данных и постановка проблемы. Возрастающие требования к надежности и ресурсу работы деталей авиа- и турбостроения определяют разработку качественно новых материалов и технологий. Наиболее широко применяются жаропрочные и жаростойкие многокомпонентные никелевые сплавы с высоким уровнем структурной термостабильности [2]. Однако непрерывно усложняющиеся условия работы агрегатов требуют повышения

механических и эксплуатационных характеристик. Одним из способов измельчения структурных составляющих сплавов на макро- и микроуровне является модифицирование многокомпонентных сплавов нанодисперсными композициями [3].

Цель и задачи исследования. Целью работы является разработка технологии модифицирования алюминиевых и никелевых сплавов нанодисперсными композициями для повышения качества и свойств отливок и деформируемых заготовок. В данной работе применено наномодифицирование алюминиевых сплавов АМг6, 01570 и жаростойкого никелевого сплава ЖСЗДК.

Для достижения цели были поставлены следующие задачи: обосновать выбор типа наномодификатора для алюминиевых и никелевых сплавов; провести экспериментальные плавки алюминиевых сплавов АМг6, 01570 и никелевого сплава ЖСЗДК с обработкой наномодификаторами; изучить механические свойства сплавов до и после модифицирования наноконпозициями.

Результаты исследования процесса наномодифицирования многокомпонентных сплавов и анализ полученных результатов. В работах [4, 5] показана возможность применения дисперсных и нанодисперсных тугоплавких модификаторов в литейных алюминиевых и никелевых сплавах. В данной работе применяли модифицирование алюминиевых сплавов нанодисперсными композициями на основе