

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.

Иванов 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@duerp.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.

Stepanenkov 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 коррозионноустойчивых 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 окалина 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 окалина, но и участием азота в образовании окалина, 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 окалина. 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 Стіл») 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):

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

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

Для стали по патенту [16] рассчитанные по формулам (1) и (2) эквивалентные содержания $Ni_{\text{эKB}} = 16,9$ и $Cr_{\text{эKB}} = 21,7$, 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]:

$$lg[N]_{\text{ст}} = lg0,45 - e_N^{Cr}[Cr] - e_N^{Mn}[Mn] - e_N^{Si}[Si] - e_N^{Al}[Al] - e_N^{Ti}[Ti]$$

$$lg[N]_{30X14Г8Ю2Л} = -1,3468 + 0,047 \cdot 14 + 0,02 \cdot 8 - 0,048 \cdot 1,2 + 0,028 \cdot 2 + 0,52 \cdot 0,2 = -0,426 \quad (3)$$

$$lg[N]_{30X14Г8Ю2Л} = -0,4264;$$

что соответствует максимальной растворимости азота:

$$a[N]_{30X14Г8Ю2Л} = 0,37\%$$

В соответствии с патентом [16] содержание в стали азота равно 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-

ння 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. Бардина, 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., Koltshon, 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. Petersburg Publishing House of the Polytechnic University, 359-360. 3. *Kaputkina, L., Svyazhin, A., Prokoshkina, V., Kremyansky, 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. *Lanskaya, 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