



УДК 621.785

Поступила 18.04.2018

СТРУКТУРНО-ФАЗОВОЕ СОСТОЯНИЕ И ТРИБОТЕХНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ОТЛИВОК ИЗ ВЫСОКОХРОМИСТОЙ СТАЛИ 20X15Г3, ПОЛУЧЕННЫХ ПО ТЕХНОЛОГИИ ТОЧНОГО ЛИТЬЯ SOL-GEL В КЕРАМИЧЕСКИЕ ФОРМЫ

В. А. КУКАРЕКО, А. Н. ГРИГОРЧИК, Е. В. АСТРАШАБ, Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси, г. Минск, Беларусь, ул. Академическая, 12. Тел. +375 17 284 24 05, П. Е. ЛУЩИК, Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Беларусь, пр. Независимости, 65. Тел. +375 44 734 82 86

Исследованы структура, фазовый состав и триботехнические свойства отливки рабочего колеса нефтяных и центробежных насосов из высокохромистой стали 20X15Г3, полученной по технологии точного литья. Сделано заключение, что отливка рабочего колеса из высокохромистой стали 20X15Г3, полученная по технологии точного литья Sol-Gel в керамические формы, имеет повышенные свойства и может служить заменой традиционно используемого материала – чугуна.

Ключевые слова. Высокохромистая сталь 20X15Г3, технология Sol-Gel, структура, фазовый состав, триботехнические свойства.

Для цитирования. Кукареко В. А. Структурно-фазовое состояние и триботехнические свойства отливок из высокохромистой стали 20X15Г3, полученных по технологии точного литья Sol-Gel в керамические формы / В. А. Кукареко, А. Н. Григорчик, Е. В. Астрашаб, П. Е. Луцкич // Литье и металлургия. 2018. Т. 91. № 2. С. 103–107.

STRUCTURAL PHASE STATE AND TRIBOTECHNICAL PROPERTIES OF CASTINGS FROM HIGH-CHROME STEEL 20Cr15Mn3, OBTAINED BY TECHNOLOGY OF PRECISION SOL-GEL CASTING IN CERAMIC FORMS

V. A. KUKAREKO, A. N. GRIGORCHIK, E. V. ASTRASHAB, The Joint Institute of Mechanical Engineering of the National Academy of Sciences of Belarus, 12, Akademicheskaya str., Minsk, Belarus. Tel. +375 17 284 24 05, P. E. LUSHCHIK, Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus, 65, Nezavisimosti ave. Tel. +375 44 734 82 86

The structure, phase composition and tribotechnical properties of the impeller casting for oil and centrifugal pumps made from high-chromium steel 20Cr15Mn3, obtained by the technology of precise casting, were studied. It was concluded that impeller casting made from high-chromium steel 20Cr15Mn3, obtained by the technology of exact casting of Sol-Gel in ceramic molds, had improved properties and can serve as a replacement for the traditionally used material – cast iron.

Keywords. High-chromium steel 20Cr15Mn3, precision sol-gel casting, structure, phase composition, tribotechnical properties.

For citation. Kukareko V. A., Grigorchik A. N., Astraschab E. V., Lushchik P. E. Structural phase state and tribotechnical properties of castings from high-chrome steel 20Cr15Mn3, obtained by technology of precision Sol-Gel casting in ceramic forms. Foundry production and metallurgy, 2018, vol. 91, no. 2, pp. 103–107.

Введение

От рабочих колес центробежных нефтяных и грунтовых насосов зависит их производительность. В свою очередь, достижение высоких рабочих характеристик насосов во многом зависит от способа получения их основной детали – рабочего колеса. Например, при получении рабочего колеса методом механической обработки половинок и последующей их сварки по профилю лопатки насос не выдает требуемой производительности. Это связано с тем, что длительная механическая обработка половинок не обеспечивает гарантированного формирования требуемого профиля лопатки колеса, а сварка не позволяет достичь хорошего результата по герметичности. Кроме того, от рабочего колеса, работающего

в агрессивных условиях, помимо высоких физико-механических свойств, также требуется и повышенная коррозионная стойкость. В связи с указанными выше требованиями, предъявляемыми к колесам центробежных нефтяных и грунтовых насосов, а также с учетом недостатков существующей технологии их получения, целесообразно применять методы литья, которые позволяют формировать фактически готовые изделия из высоколегированных коррозионностойких сталей. Одним из таких методов литья является способ точного литья в керамические формы по технологии золь-гель (Sol-Gel). Вместе с тем, систематизированные данные о структурно-фазовом состоянии и трибомеханических свойствах отливок из высокохромистых сталей, полученных методом точного литья в керамические формы по технологии золь-гель (Sol-Gel), в литературе представлены фрагментарно. Кроме того, представляло интерес провести сопоставление триботехнических свойств отливок из высокохромистых сталей и традиционно используемого материала – чугуна. Таким образом, целью данной работы являлось исследование структурно-фазового состояния и триботехнических свойств отливки рабочего колеса из высокохромистой стали 20X15Г3, полученной по технологии точного литья в керамические формы.

Материалы и методики испытаний

Проводили исследование структурно-фазового состояния и триботехнических свойств отливки из высокохромистой стали 20X15Г3, полученной методом точного литья в керамические формы по технологии золь-гель (Sol-Gel). Для исследований из отливки вырезали образцы размерами 20×20×10 и 8×6×5 мм.

Химический анализ образцов отливки осуществляли на приборе Epsilon 1 с методическим программным обеспечением Epsilon 3 компании PANalytical.

Для рентгеноструктурного анализа использовали образцы размером 20×20×10 мм. Перед проведением исследований вырезанные образцы отливки подвергали механической шлифовке с доводкой на наждачной бумаге P600 (с размером зерна 20–28 мкм). Рентгеновскую съемку осуществляли на дифрактометре ДРОН-3 в монохроматизированном (СоK_α) излучении. Запись дифракционных линий проводили в режиме сканирования. Шаг сканирования – 0,1°, время набора импульсов в точке – 10 с. Расшифровку рентгенограмм выполняли при помощи программного обеспечения Crystallographica Search-Match.

Для определения твердости использовали метод Виккерса. Твердость по Виккерсу определяли на твердомере DuraScan 20 при нагрузках 10 г и 10 кг.

Триботехнические испытания образцов проводили в условиях сухого трения на трибометре АТВП при удельной нагрузке 1,5 МПа. Испытания осуществляли по схеме возвратно-поступательного движения призматического образца (8×6×5 мм) по пластинчатому закаленному контртелу (800 HV10) при средней скорости взаимного перемещения 0,1 м/с.

Триботехнические испытания образцов отливки из высокохромистой стали 20X15Г3 в условиях граничного трения проводили в среде смазочного материала И-20А на трибометре АТВП при удельных нагрузках 10 и 20 МПа. Контртело из закаленной стали 65Г (700 HV10).

Результаты исследований и их обсуждение

Химический состав отливок из высокохромистой стали 20X15Г3 и стали 20X13, полученных по технологии точного литья (Sol-Gel) в керамические формы, приведен в табл. 1.

Таблица 1. Химический состав образцов отливок из высокохромистых сталей 20X15Г3 и 20X13, мас.%

Сталь	Fe	C	Cr	Ni	Mn	Si	V	Cu	Al	P	S
20X15Г3	Основа	0,2	15,46	0,49	3,14	0,83	0,03	0,18	0,09	0,14	0,06
20X13	Основа	0,21	12,31	0,34	0,63	0,61	–	0,16	–	0,19	0,14

Структура отливки из высокохромистой стали включает в себя однороднораспределенные дендриты (рис. 1). Твердость литой стали 20X15Г3 составляет 425 HV 10.

Рентгеноструктурный анализ образца литой стали показал, что механически шлифованный образец отливки из стали 20X15Г3 содержит ≈90 об.% γ-Fe (светлые участки на микроструктуре), а также α-Fe и карбид (Fe, Cr)₇C₃ (рис. 2, а) [1]. Высокое содержание аустенита в стали 20X15Г3 связано с наличием в химическом составе отливки большого количества марганца, который способствует стабилизации аустенита [2]. В пользу этого вывода свидетельствует тот факт, что отливка из стали 20X13 (рис. 2, б) [3] после точного литья в керамические формы содержит всего ≈10 об.% аустенитной фазы.

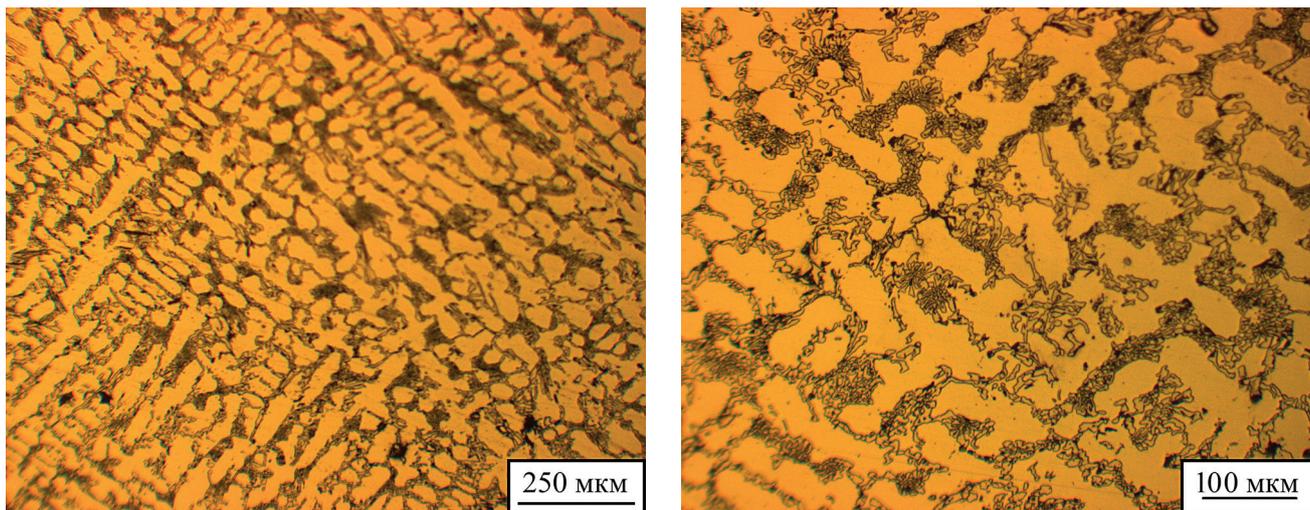


Рис. 1. Микроструктура экспериментальной отливки из высокохромистой стали 20X15Г3 при различном увеличении

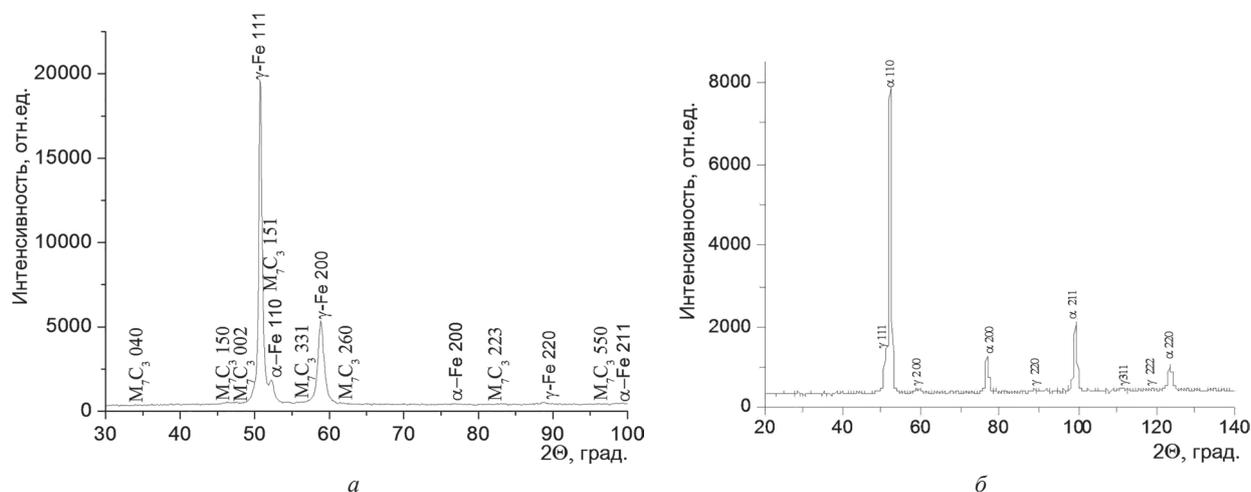


Рис. 2. Фрагменты рентгеновских дифрактограмм ($\text{CoK}\alpha$), полученных от поверхностных слоев образцов, вырезанных из экспериментальных отливок центробежных насосов: *a* – из стали 20X15Г3; *б* – из стали 20X13

Триботехнические испытания образцов литой стали 20X15Г3 проводили в условиях сухого и граничного трения. Результаты триботехнических испытаний образцов отливок из высокохромистых сталей 20X15Г3 и 20X13, а также высокопрочного чугуна в условиях сухого трения представлены на рис. 3.

Из рисунка видно, что износостойкость литой стали 20X15Г3 значительно превышает (\approx в 90 раз)

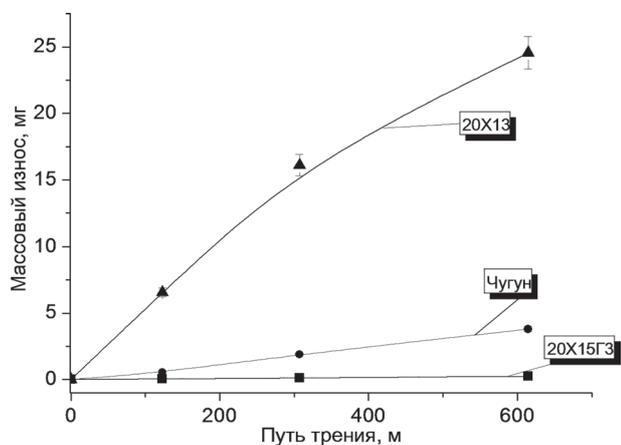


Рис. 3. Зависимость массового износа образцов отливок из высокохромистых сталей и чугуна, полученных методом точного литья, от пути трения (трение без смазочного материала, $P = 1,5$ МПа)

износостойкость литой стали 20X13, а также \approx в 15 раз превышает износостойкость высокопрочного чугуна. При этом интенсивность массового изнашивания образца отливки из стали 20X15Г3 составляет $\approx 0,45 \cdot 10^{-3}$ мг/м, литого образца отливки из стали 20X13 – $40 \cdot 10^{-3}$ и чугуна $\approx 6,33 \cdot 10^{-3}$ мг/м (рис. 3).

Повышенное сопротивление изнашиванию литой стали 20X15Г3 обусловлено протеканием в ее поверхностных слоях деформационно-активированного $\gamma \rightarrow \alpha$ -превращения, приводящего к существенному возрастанию износостойкости и микротвердости стали. На рис. 4 показан фрагмент рентгеновской дифрактограммы ($\text{CoK}\alpha$) от поверхностных слоев образца отливки из высокохромистой стали 20X15Г3 после триботехнических испытаний без смазочного материала при удельном давлении 1,5 МПа. В частности, содержание аустенитной фазы в поверхностных слоях об-

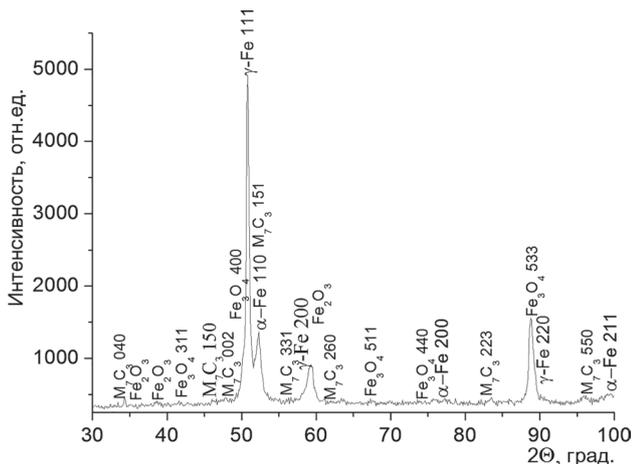


Рис. 4. Фрагмент рентгеновской дифрактограммы (CoK_α) от поверхностных слоев образца отливки из высокохромистой стали 20X15Г3 после триботехнических испытаний без смазочного материала при удельном давлении испытаний 1,5 МПа

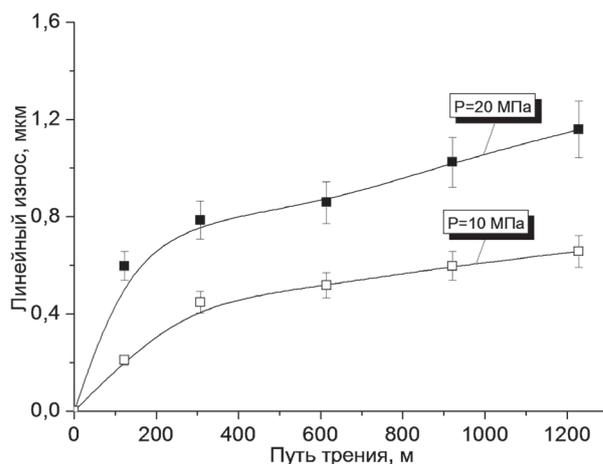


Рис. 5. Зависимость линейного изнашивания образцов литой высокохромистой стали 20X15Г3, испытанной при различных давлениях (смазочный материал И-20А, P = 10 и 20 МПа)

разца отливки из стали 20X15Г3 после триботехнических испытаний снизилось \approx до 60 об.%, а его микротвердость возросла \approx до 920 HV 0,01.

Триботехнические испытания образцов отливки из стали 20X15Г3 в условиях граничного трения проводили при нагрузках 10 и 20 МПа в смазочном материале И-20А. Результаты испытаний представлены на рис. 5. Из рисунка видно, что литая сталь 20X15Г3 в условиях трения со смазочным материалом И-20А при высоких контактных давлениях характеризуется относительно высокой износостойкостью. В частности, интенсивность линейного изнашивания при удельном давлении испытаний 10 МПа составляет $5,4 \cdot 10^{-10}$, а при 20 МПа – $9,3 \cdot 10^{-10}$ (рис. 5). При этом, как и в случае трения без смазочного материала, в поверхностных слоях образца отливки при трении в смазочном материале протекает деформационно-активированное $\gamma \rightarrow \alpha$ -превращение, приводящее к увеличению микротвердости и износостойкости литого материала. В частности, микротвердость поверхностных слоев образцов отливки после испытаний при 10 МПа повысилась до 660 HV 0,01, а после испытаний при 20 МПа – до 780 HV 0,01 (табл. 2).

Таблица 2. Микротвердость поверхностей трения образцов литой стали 20X15Г3 после испытаний в смазочном материале И-20А и в условиях сухого трения

Режим трения	HV 0,01
Граничное трение при 10 МПа	660
Граничное трение при 20 МПа	780
Сухое трение при 1,5 МПа	920

Таким образом, можно сделать вывод, что метод точного литья в керамические формы по технологии Sol-Gel высокохромистой стали 20X15Г3 позволяет получать ответственные детали центробежных грунтовых и нефтяных насосов, работающих в тяжелонагруженных условиях. В частности, износостойкость отливки рабочего колеса из стали 20X15Г3 в условиях трения без смазочного материала значительно выше (\approx в 15 раз) традиционно используемого чугуна, при этом благодаря высокому содержанию хрома обладает коррозионной стойкостью в слабо агрессивных средах.

Выводы

Исследованы структура, фазовый состав и триботехнические свойства отливки рабочего колеса нефтяных и грунтовых центробежных насосов из высокохромистой стали 20X15Г3, полученной по технологии точного литья (Sol-Gel) в керамические формы.

Показано, что механически шлифованный образец отливки из стали 20X15Г3 содержит γ -Fe (\approx 90 об.%), α -Fe, а также карбид $(Fe, Cr)_7C_3$.

Установлено, что интенсивность массового изнашивания в условиях трения без смазочного материала образца отливки из стали 20X15Г3 составляет $0,45 \cdot 10^{-3}$ мг/м, что \approx в 90 раз ниже интенсивности массового изнашивания образца отливки из стали 20X13 и \approx в 15 раз ниже интенсивности массового изна-

шивания образца отливки из чугуна. Показано, что в процессе триботехнических испытаний в поверхностных слоях образца отливки из высокохромистой стали 20X15Г3 протекает деформационно-активированное $\gamma \rightarrow \alpha$ -превращение, приводящее к существенному возрастанию его микротвердости и износостойкости. В частности, в результате триботехнических испытаний образца литой стали 20X15Г3 в условиях трения без смазочного материала содержание аустенита в его поверхностном слое снизилось \approx от 90 до \approx 60 об.%, а его микротвердость возросла до значений 920 HV 0,01.

Триботехнические испытания в условиях граничного трения показали, что литая сталь 20X15Г3 характеризуется относительно высокой износостойкостью. Интенсивность линейного изнашивания при удельном давлении испытаний 10 МПа составляет $5,4 \cdot 10^{-10}$, а при 20 МПа – $9,3 \cdot 10^{-10}$. Микротвердость образцов литой стали 20X15Г3 после триботехнических испытаний в условиях граничного трения при удельных давлениях испытаний в 10 и 20 МПа возрастает до 660 и 780 HV 0,01 соответственно.

ЛИТЕРАТУРА

1. Григорчик А. Н. Исследование структурно-фазового состояния и твердости отливок из высокохромистой стали, полученной методом литья в керамические формы / А. Н. Григорчик, А. Г. Кононов, А. А. Андриц // Материалы 15-й Международ. науч.-техн. конф. профессорско-преподавательского состава, научных работников, докторантов и аспирантов «Наука образованию, производству, экономике». Минск: БНТУ, 2017. Т. 1. 461 с.
2. Гуляев А. П. Металловедение. М.: Металлургия, 1986. 544 с.
3. Григорчик А. Н., Андриц А. А. Исследование структурно-фазового состояния и трибомеханических свойств отливок из стали 20Х13, полученных методом литья в керамические формы / А. Н. Григорчик, А. А. Андриц // Молодежь в науке - 2016: материалы 13-й Международ. науч. конф. Минск, 22–25 ноября 2016. С. 287.

REFERENCES

1. Grigorichik A. N., Kononov A. G., Andrits A. A. Issledovanie strukturno-fazovogo sostojanija i tverdosti otlivok iz vysokohromistoj stali, poluchenoj metodom lit'ja v keramicheskie formy [Investigation of the structural-phase state and hardness of castings from high-chromium steel obtained by casting into ceramic molds]. *Materialy 15-j Mezhdunarodnoj nauchno-tehnicheskoy konferencii «Nauka obrazovaniju, proizvodstvu, jekonomike» = Materials of the 15th International Scientific and Technical Conference of the teaching staff, researchers, doctoral and post-graduate students «Science Education, Production, Economics»*. Minsk, BNTU, 2017, vol. 1, 461 p.
2. Guljaev A. P. *Metallovedenie* [Metal science]. Moscow, Metallurgija Publ, 1986, 544 p.
3. Grigorichik A. N., Andrits A. A. Issledovanie strukturno-fazovogo sostojanija i tribomechanicheskikh svojstv otlivok iz stali 20H13, poluchennyh metodom lit'ja v keramicheskie formy [Investigation of the structural-phase state and tribomechanical properties of 20Cr13 steel castings obtained by casting into ceramic molds]. *Molodezh' v nauke – 2016: materialy 13-j Mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii = Youth in Science – 2016: materials of the 13th International Scientific Conference*. Minsk, 2016, 287 p.