

ЛИТЕЙНОЕ ПРОИЗВОДСТВО

УДК 621.78.08

[https://doi.org/10.18503/2311-5378-2026-3\(58\)-10-14](https://doi.org/10.18503/2311-5378-2026-3(58)-10-14)

Феоктистов Н.А., Савинов А.С.

ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ГРАФИТА НА ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ ПРОКАТНЫХ ВАЛКОВ

Аннотация. В статье приведены результаты исследования влияния изотермической выдержки индифинитного чугуна, применяемого для изготовления рабочего слоя двухслойных прокатных валков. Показано, что изотермическая выдержка при высоких температурах, которая возникает в процессе изготовления прокатного валка, а именно при заливке металла сердцевины, влияет на абразивную износостойкость сплава. Также изучено влияние окончательной термической обработки – отпуска на изменение значения коэффициента абразивной износостойкости исследуемых сплавов. В качестве исследования выбран половинчатый хромо-никелевый чугун, дополнительно легированный ванадием, в том числе и азотированным, в концентрации до 0,5%.

Ключевые слова: валок, рабочий слой, графитизация, отпуск, абразивная износостойкость

Введение

Важным технологическим этапом в производстве индифинитных прокатных валков является процесс графитизации рабочего слоя, который происходит в момент заливки сердцевины из высокопрочного чугуна. Причиной графитизации легированного чугуна является достаточно длительное его пребывание в изотермических условиях при высоких температурах после заливки сердцевинной части валка. Графит является обязательной структурной составляющей половинчатого чугуна, так как именно он обеспечивает антифрикционные свойства валка в системе трения металл-металл и повышенный срок службы изделия.

Решающее влияние на структуру чугуна рабочего слоя оказывает химический состав сплава. Помимо обязательных химических элементов, для этого класса чугуна (никель, хром) на практике применяется дополнительное легирование. Одним из перспективных легирующих элементов является ванадий, в том числе и азотированный. Введение в расплав этого карбидообразующего элемента приводит к перераспределению углерода между металлической основой и карбидной фазой, а также изменению устойчивости эвтектических карбидов к графитизации. Помимо этого, наличие в сплаве ванадия должно оказывать влияние на структурообразование в твердом состоянии: при термической обработке литого сплава – отпуске [1-17].

Целью настоящей работы является исследование влияния легирования индифинитного чугуна ванадием и азотом на абразивную износостойкость после графитизации и термической обработки.

Материалы и методика исследования

Выплавку опытных сплавов производили в литейной лаборатории ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И.

Носова» в индукционной печи с основной футеровкой ёмкостью 2 кг.

Износостойкость сплавов изучали согласно ГОСТ 23.208-79 «Метод испытания материалов на износостойкость при трении о не жестко закрепленные абразивные частицы».

С целью имитации условий, близких к производственным, образцы экспериментальных сплавов рабочего слоя с различным содержанием ванадия помещали в печь, разогретую до 1100°C. После чего печь контролируемо охлаждалась в течение нескольких суток, имитируя условия формирования графитизированной литой структуры рабочего слоя прокатного валка.

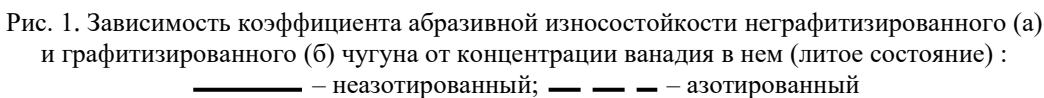
Окончательную термическую обработку проводили при температуре 470°C. Нагрев и охлаждение образцов осуществлялся со скоростью 5–15 °C/ч, время изотермической выдержки при отпуске – 25 ч.

Полученные результаты и их обсуждение

На рис. 1 представлено влияние концентрации ванадия на коэффициент абразивной износостойкости валкового чугуна в литом состоянии, неграфитизированном (рис. 1, а) и прошедшем графитизацию (рис. 1, б). На каждом графике представлены по две зависимости, соответствующие введению ванадия в сплав азотированным и неазотированным ферросплавом.

Проведя испытания опытных сплавов в литом состоянии, установили, что при увеличении количества ванадия в валковом чугуне до 0,3% происходит снижение коэффициента абразивной износостойкости не зависимо от того, какую лигатуру применяли – обычную или азотированную (см. рис. 1, а).

Прежде всего, это обусловлено обеднением расплава углеродом за счёт возможного выделения специальных карбидов, а также частичной заменой эвтектических карбидов на комплексно-легированные вторичные.



Согласно графику на рис. 1, б, можно констатировать, что характер изменения значений коэффициента износостойкости при комплексном легировании валкового чугуна ванадием и азотом не меняется по сравнению с неграфитизированным сплавом. Однако происходит увеличение значений коэффициента износостойкости относительно неграфитизированного валкового чугуна при одинаковых концентрациях ванадия в среднем на 3–9%. Сохранение характера изменения значений коэффициента абразивной износостойкости валкового чугуна после графитизации обусловлено, вероятнее всего, наличием комплексных карбонитридов ванадия, которые являются структурной составляющей, препятствующей процессам изнашивания. В процессе графитизации происходит разложение карбидов с выделением структурно-свободного углерода – графита, в то время как нитри-

Очевидно, что в случае легирования валкового чугуна только ванадием значение коэффициента абразивной износостойкости увеличивается по мере увеличения концентрации ванадия в нем. Максимальное значение исследуемого коэффициента достигается при концентрации ванадия в сплаве от 0,4 до 0,5 %.

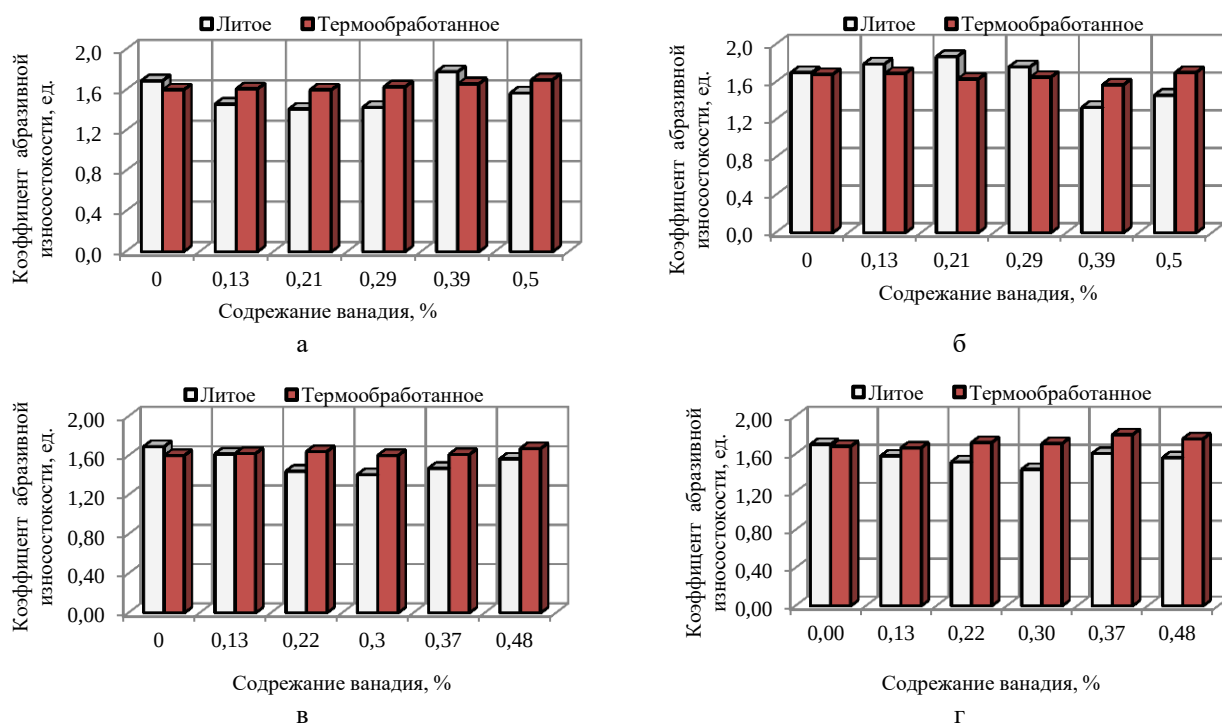


Рис. 2. Изменение коэффициента абразивной износостойкости неграфитизированного (а, в) и графитизированного (б, г) чугуна после термической обработки при различной концентрации ванадия в сплаве: а, б – неазотированный ванадий; в, г – азотированный ванадий

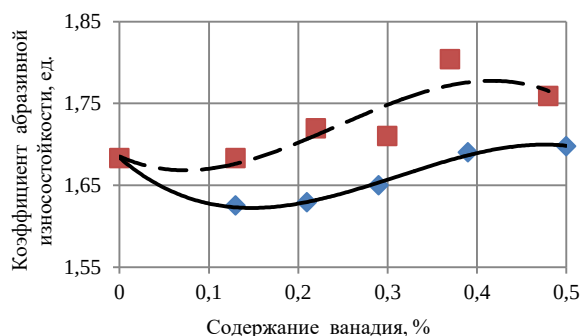


Рис. 3. Зависимость коэффициента абразивной износостойкости графитизированного и термообработанного валкового чугуна от концентрации ванадия в нем: — — — — — - неазотированный; — — — — — - азотированный

Высокое значение коэффициента абразивной износостойкости базового сплава, в котором отсутствует ванадий, вероятнее всего обусловлено большим количеством графита, выделившимся в процессе графитизации. Интенсивному выделению графита способствовало отсутствие ванадия в химическом составе экспериментальных сплавов, являющегося сильным карбидообразующим элементом. Таким образом, углерод, не связанный в карбиды, выделяется в процессе изотермической выдержки (графитизации) в виде включений графита и является своеобразной «смазкой» в процессе изнашивания.

Однако в реальных условиях эксплуатации валков наличие только графита в микроструктуре изделия является недостаточным условием для обеспечения вы-

сокого уровня эксплуатационных свойств изделий. Он может выкрашиваться в процессе прокатки, что приведёт к обеднению смазки в системе «металл-металл» и понижению эксплуатационных свойств. Для предотвращения этого в микроструктуре сплава должна быть фаза, которая имеет высокую твёрдость и препятствует истиранию металлической основы. Это фазой являются карбиды различных легирующих элементов.

В случае легирования валкового чугуна ванадием в комплексе с азотом значение коэффициента абразивной износостойкости выше на 3–7%, чем при легировании только ванадием. В первую очередь это обусловлено тем, что в структуре чугуна помимо карбидов присутствуют нитриды, которые в процессе высокотемпературной изотермической выдержки не

распадаются. В комплексе это приводит к обеспечению более высокого уровня эксплуатационных свойств валкового чугуна.

Выводы

1. Графитизация валкового чугуна оказывает существенное влияние на уровень эксплуатационных свойств валкового чугуна, легированного только ванадием. При легировании сплава ванадием совместно с азотом влияние графитизации существенно снижается.

2. Легирование валкового чугуна азотированным феррованадием способствует повышению коэффициента абразивной износостойкости на 3–7% по сравнению с чугуном, легированным только ванадием.

3. Максимальное значение коэффициента абразивной износостойкости валкового чугуна, легированного ванадием в комплексе с азотом, наблюдается при остаточных концентрациях ванадия в пределах 0,1 до 0,2%, а при легировании только ванадием – в пределах 0,4–0,5%.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования России (проект FZRU-2026-0003)

Список источников

- Structure and properties of cast iron designated for working layer of rolls / Vdovin K.N., Zavalishchin A.N., Gorlenko D.A., Feoktistov N.A. // Journal of Materials Science Research. 2016. Т. 5. № 1. С. 77-88.
- Карбидные превращения при отпуске комплексно-легированного белого чугуна / Вдовин К.Н., Горленко Д.А., Завалищин А.Н. // Металловедение и термическая обработка металлов. 2015. № 3 (717). С. 3-7.
- Влияние отпуска на свойства карбидной фазы в белом комплексно-легированном чугуне / Вдовин К.Н., Горленко Д.А., Завалищин А.Н., Савинов А.С., Синицкий Е.В. // Международный научно-исследовательский журнал. 2014. № 10-2 (29). С. 14-16.
- Влияние режима отпуска на соотношение структурных составляющих в белом комплексно-легированном чугуне // Вдовин К.Н., Горленко Д.А., Завалищин А.Н. // Технология металлов. 2013. № 8. С. 13-16.
- Vdovin K.N., Gorlenko D.A., Zavalishchin A.N. Structure changes of chromium-nickel indefinite cast irons in heating // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2013. № 5 (45). С. 9-11.
- Завалищин А.Н., Горленко Д.А., Вдовин К.Н. Влияние температуры отпуска на структурные составляющие в индифинитном чугуне // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования. 2013. Т. 1. № 71. С. 298-301.
- Воздвиженский Б. М., Кононов В. А. Исследование структуры и свойств хромо-ванадиевого чугуна // Тр. Ин-та / Яросл. политехн. Ин-т. Ярославль, 1979. С. 59 - 62.
- Бобро Ю.Г. Легированные чугуны. М.: Машиностроение, 1976. 287 с.
- Цыпин И.И. Белые износостойкие чугуны. Структура и свойства. М.: Металлургия, 1988. 256 с.
- Гарбер М.Е. Износостойкие белые чугуны. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Машиностроение, 2010. 279 с.
- Гималетдинов Р.Х. Производство прокатных валков из высококачественных чугунов. М.: Полтекс, 2000. 330 с.
- Будагьянц Н.А., Карский В.Е. Литые прокатные валки. М.: Машиностроение, 1983. 175 с.
- Отливки из специальных чугунов: учеб. пособие / Колокольцев В.М., Соловев В.П., Молочков П.А., Потапов М.Г.; под. ред. В.М. Колокольцева. Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2006. 139 с.
- Жуков А.А., Сильман Г.И., Фрольцов И.С. Износостойкие отливки из комплекснолегированных чугунов. М.: Машиностроение, 1984. 104 с.
- Марукович Е.И., Карпенко М.И. Износостойкие сплавы. М.: Машиностроение, 2005. 428 с.
- Влияние легирующих элементов на свойства чугунных валков для горячей прокатки / В.М. Колокольцев, А.В. Науменко, В.А. Куц и др. // Теория и технология металлургического производства. Магнитогорск, 2001. Вып. 2. С. 210–219.
- Смирнов А.Н., Лейрих И.В. Производство отливок из чугуна: учеб. пособие. Донецк: Норд-Пресс, 2005. 245 с.

Сведения об авторах

Феоктистов Николай Александрович – кандидат технических наук, заведующий кафедрой «Литейные процессы и материаловедение», ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Магнитогорск, Россия. E-mail: fna87@mail.ru.

Савинов Александр Сергеевич – доктор технических наук, заведующий кафедрой «Механика», ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Магнитогорск, Россия. E-mail: savinov_nis@mail.ru.

STUDY OF THE EFFECT OF GRAPHITE ON THE WEAR RESISTANCE OF ROLLING MILL ROLLS

Feoktistov Nikolay A. – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of department «Foundry Processes and Material Science», Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. E-mail: fna87@mail.ru.

Savinov Alexander S. – Doctor of Technical Sciences, head of department «Mechanics», Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. E-mail: savinov_nis@mail.ru.

Abstract. The article presents the results of a study on the effect of isothermal holding of indefinite chill cast iron used for the working layer of double-layer rolling mill rolls. It is shown that isothermal holding at high temperatures, which occurs during the manufacture of a rolling mill roll, particularly during the pouring of the core metal, affects the abrasive wear resistance of the alloy. The effect of the final heat treatment—tempering—on the abrasive wear resistance coefficient of the investigated alloys was also studied. Mottled chromium-nickel cast iron additionally alloyed with vanadium, including nitrided vanadium, at concentrations of up to 0.5% was selected as the material for the study.

Keywords: rolling mill roll, working layer, graphitization, tempering, abrasive wear resistance.

The work was carried out with the financial support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (project FZRU-2026-0003).

Ссылка на статью:

Феоктистов Н.А., Савинов А.С. Изучение влияния графита на износостойкость прокатных валков // Теория и технология металлургического производства. 2026. №3(58). С. 10-14. [https://doi.org/10.18503/2311-5378-2026-3\(58\)-10-14](https://doi.org/10.18503/2311-5378-2026-3(58)-10-14)

Feoktistov N.A., Savinov A.S. Study of the effect of graphite on the wear resistance of rolling mill rolls. *Teoria i tehnologiya metallurgicheskogo proizvodstva*. [The theory and process engineering of metallurgical production]. 2026, vol. 58, no. 3, pp. 10-14. [https://doi.org/10.18503/2311-5378-2026-3\(58\)-10-14](https://doi.org/10.18503/2311-5378-2026-3(58)-10-14)