

УДК 621.78.08

Вдовин К.Н., Горленко Д.А., Никитенко О.А., Феоктистов Н.А.

ИССЛЕДОВАНИЕ АБРАЗИВНОЙ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ВАЛКОВОГО ЧУГУНА ПОСЛЕ ГРАФИТИЗАЦИИ И ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

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 хромоникелевый 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, т.к. 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.

Методы исследования

Выплавку опытных сплавов производили в литейной лаборатории Магнитогорского

государственного технического университета 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 °С. 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 °С. Нагрев и охлаждение образцов осуществлялся со скоростью 5-15 °С/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 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 независимо от того, какую легатуру применяли – обычную или азотированную (рис. 1, а).

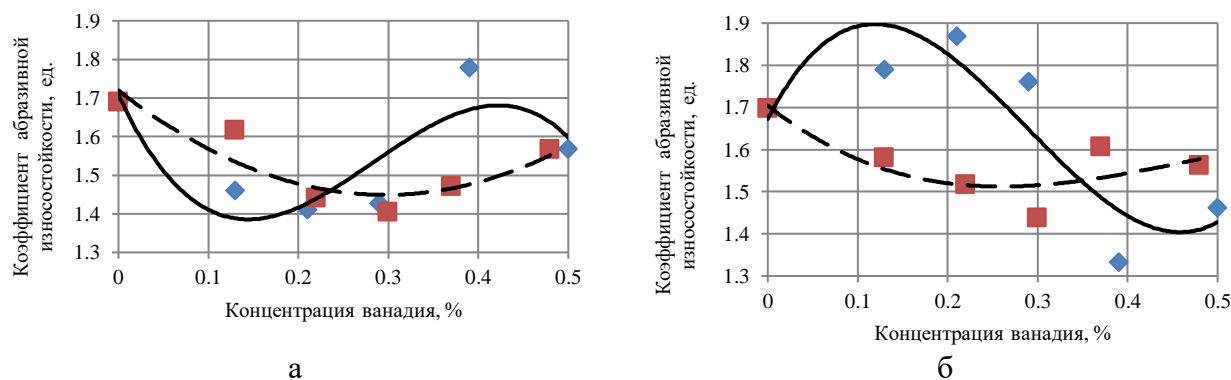


Рис. 1. Зависимость коэффициента абразивной износостойкости неграфитизированного (а) и графитизированного (б) чугуна от концентрации ванадия в нем (литое состояние): ———— - не азотированный; — — — - азотированный

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

Превышение концентрации ванадия в валковом чугуне свыше 0,3 % способствует увеличению коэффициента абразивной износостойкости на 26 % при легировании только ванадием и на 12 % при легировании в комплексе с азотом. При этом значение коэффициента износостойкости увеличивается более интенсивно в валковом чугуне, легированном только ванадием, в интервале концентраций ванадия от 0,3 до 0,5 %. Это обусловлено возможным увеличением количества специальных карбидов ванадия, а также повышением микротвёрдости матрицы.

В процесс изотермической выдержки и медленного охлаждения рабочего слоя валкового чугуна, проведённых в лабораторной печи и имитирующих технологический этап заливки сердцевины прокатного вала, происходит выделение графита. Это приводит к изменению параметров микроструктуры и, как следствие, уровня эксплуатационных свойств. Графит может оказывать двойное действие. С одной стороны, он способствует повышению антифрикционных свойств валкового чугуна в системе металл – металл, т.е. в процессе прокатки. С другой стороны, при испытании на износостойкость о не жёстко закреплённые частицы, в частности корунд, происходит взаимодействие включений графита с ним, что приводит к их разрушению. В этом месте начинается интенсивный износ.

Согласно графику (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 нитриды остаются.

В случае легирования рабочего слоя валкового чугуна только ванадием, в микроструктуре отсутствуют нитриды легирующих элементов. В процессе графитизации происходит частичное растворение карбидов, а также выделение углерода из матрицы с образованием графита. При этом до концентрации ванадия в сплаве 0,2 % происходит выделение графита, что способствует увеличению коэффициента износостойкости. Превышая указанную концентрацию ванадия, происходит образование его специальных карбидов, что обуславливает падение коэффициента износостойкости на 20 – 25 %.

Термическая обработка, следствием которой является изменение параметров микроструктуры, способствует изменению эксплуатационных свойств валкового чугуна. При этом, в основном, происходит увеличение значения коэффициента абразивной износостойкости на 5 – 18 % в зависимости от количества ванадия в составе сплава (рис. 2).

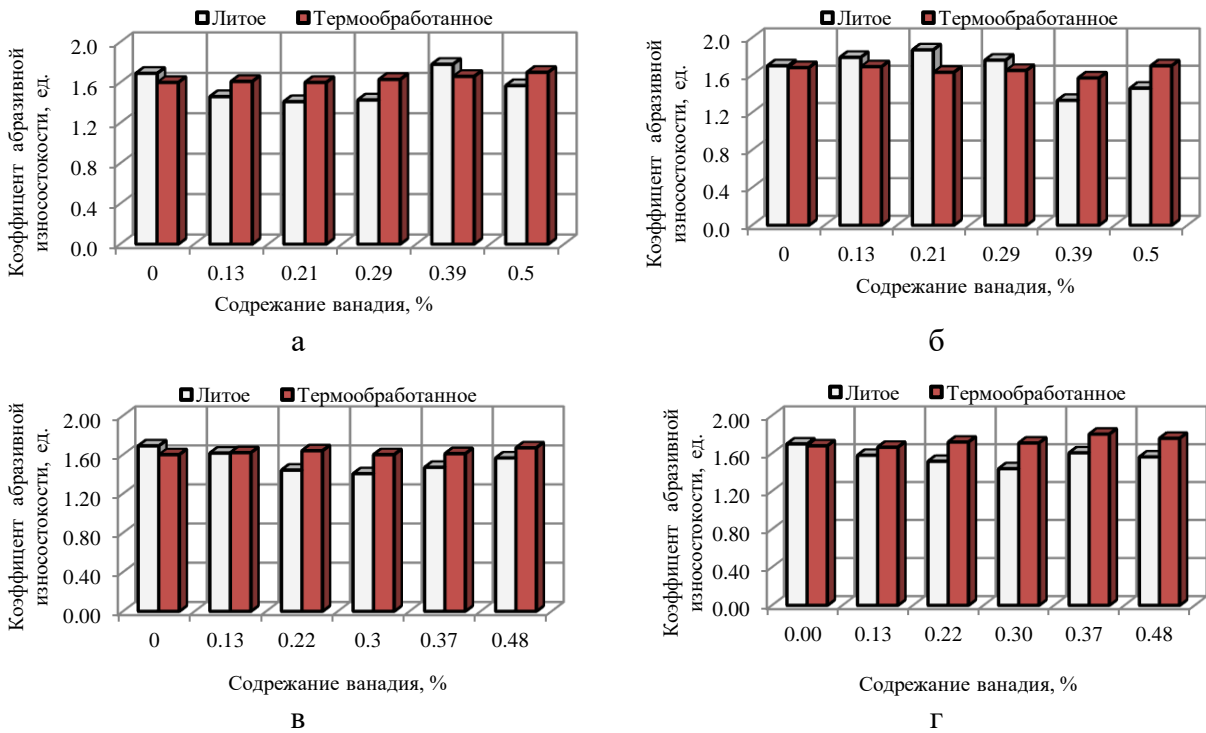


Рис. 2. Изменение коэффициента абразивной износостойкости неграфитизированного (а, в) и графитизированного (б, г) чугуна после термической обработки при различной концентрации ванадия в сплаве: а, б – не азотированный ванадий; в, г – азотированный ванадий

Следует отметить, что в чугуне рабочего слоя прокатного вала, прошедшем предварительную графитизацию, а также легированном только ванадием (без азота), увеличение коэффициента абразивной износостойкости наблюдали только при концентрации ванадия свыше 0,3 %. В остальных случаях значение этого коэффициента уменьшается на 1,5 – 5,0 %. В случае комплексного легирования валкового чугуна азотом и ванадием термическая обработка приводит к увеличению коэффициента абразивной износостойкости на 5 – 19 %.

На рис. 3 представлен график изменения значений коэффициента абразивной износостойкости валкового чугуна, прошедшего предварительную графитизацию с последующей термической обработкой, а также легированного различным количеством только ванадия и в комплексе с азотом.

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 %.

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, являющимся 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.

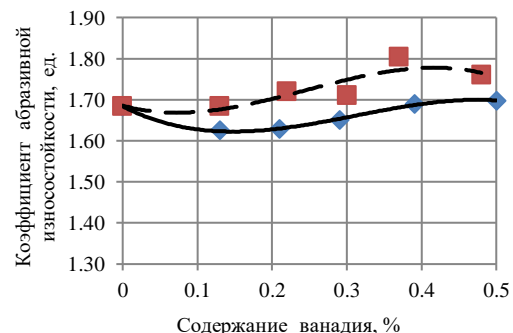


Рис. 3. Зависимость коэффициента абразивной износостойкости графитизированного и термообработанного валкового чугуна от концентрации ванадия в нем: — — — — — не азотированный; — — — — — азотированный

Однако в реальных условиях эксплуатации валков наличие только графита в микроструктуре изделия является недостаточным условием для обеспечения высокого 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. Этой 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 коэффициент 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 %.

Список литературы

1. 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. Vol. 5. № 1. P. 77-88.
2. Карбидные превращения при отпуске комплекснолегированного белого чугуна/ Вдовин К.Н., Горленко Д.А., Завалищин А.Н. // Металловедение и термическая обработка металлов. 2015. № 3 (717). С. 3-7.
3. 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.
4. Влияние режима отпуска на соотношение структурных составляющих в белом комплекснолегированном чугуне / Вдовин К.Н., Горленко Д.А., Завалищин А.Н. // Технология металлов. 2013. № 8. С. 13-16.
5. Structure changes of chromium-nickel indefinite cast irons in heating / Vdovin K.N., Gorlenko D.A., Zavalishchin A.N. // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2013. № 5 (45). С. 9-11.
6. Влияние температуры отпуска на структурные составляющие в индифинитном чугуне. Завалищин А.Н., Горленко Д.А., Вдовин К.Н. //Актуальные проблемы современной науки, техники и образования. 2013. Т. 1. № 71. С. 298-301.
7. Воздвиженский Б. М., Кононов В. А. Исследование структуры и свойств хромованадиевого чугуна // Тр. Ин-та; Яросл. политехн. ин-т. Ярославль, 1979. С. 59 - 62.
8. Бобро Ю. Г. Легированные чугуны. М.: Машиностроение, 1976. 287 с.
9. Цыпин И. И. Белые износостойкие чугуны. Структура и свойства. М.: Металлургия, 1988. 256 с.
10. Гарбер М. Е. Износостойкие белые чугуны /М.Е. Гарбер. Изд. 2-е, перераб. и доп. М.: Машиностроение, 2010. 279 с.: ил.
11. Гималетдинов Р.Х. Производство прокатных валков из высококачественных чугунов.М.: Полтекс, 2000. 330 с.
12. Будагьянц Н. А., Карский В. Е. Литые прокатные валки. М.: Машиностроение, 1983. 175 с.
13. Отливки из специальных чугунов: учеб. пособие / Под. ред. В. М. Колокольцева. Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2006. 139 с.
14. Жуков А.А., Сильман Г.И., Фрольцов И.С. Износостойкие отливки из комплекснолегированных чугунов. М.: Машиностроение, 1984. 104 с.
15. Марукович Е.И., Карпенко М.И. Износостойкие сплавы. М.: Машиностроение, 2005. 428 с.
16. 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.
17. Смирнов А.Н., Лейрих И.В. Производство отливок из чугуна: учеб. пособие Донецк: Норд-Пресс, 2005. 245 с.

Сведения об авторах

Вдовин Константин Николаевич – д-р техн. наук, профессор ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова»;
Горленко Дмитрий Александрович – канд. техн. наук, ст. преподаватель ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова»;
Никитенко Ольга Александровна - канд. техн. наук, инженер-исследователь ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова»;
Феоктистов Николай Александрович – канд. техн. наук, зав. кафедрой ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова».

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

RESEARCH OF THE ABRASIVE WEAR RESISTANCE OF IRON FOR ROLLING PRODUCTION AFTER GRAPHITIZATION AND HEAT TREATMENT

Vdovin Konstantin Nikolayevich - Doctor of Technical Sciences, Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University;
Gorlenko Dmitry Aleksandrovich - Ph.D., Art. teacher, Nosov Magnitogorsk State Technical University;
Nikitenko Olga Aleksandrovna - Ph.D., Research Engineer, Nosov Magnitogorsk State Technical University ;
Feoktistov Nikolay Aleksandrovich - candidate of technical sciences, head of Foundry Processes and Material Science Department, Nosov Magnitogorsk State Technical University

***Abstract.** The results of the study of the effect of isothermal holding of the indefinite cast iron used for the manufacture of the working layer of two-layer mill rolls are given in the article. It is shown that isothermal exposure at high temperatures, which occurs during the manufacture of the mill roll 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 change in the value of the abrasive wear resistance coefficient of the alloys under study was also studied. As the object of study, half-chromium-nickel iron, additionally alloyed with vanadium, including nitrated, in a concentration of up to 0.5% was chosen.*

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

Ссылка на статью:

Вдовин К.Н., Горленко Д.А., Никитенко О.А., Феоктистов Н.А. Исследование абразивной износостойкости валкового чугуна после графитизации и термической обработки // Теория и технология металлургического производства. 2019. №2(29). С. 10-14.
Vdovin K.N., Gorlenko D.A., Nikitenko O.A., Feoktistov N.A. Research of the abrasive wear resistance of iron for rolling production after graphitization and heat treatment *Teoria i tehnologiya metallurgicheskogo proizvodstva*. [The theory and process engineering of metallurgical production]. 2019, vol. 29, no. 2, pp.10-14.