

УДК: 621.785.5

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ УПРАВЛЕНИЯ СВОЙСТВАМИ КОНСТРУКЦИОННОЙ СТАЛИ СПОСОБАМИ ПОВЕРХНОСТНОГО УПРОЧНЕНИЯ

ЧЕЙЛЯХ А.П.¹, *д.т.н, проф.*,
КАРАВАЕВА Н.Е.^{2*}

¹ Кафедра металловедения и термической обработки металлов, Государственное высшее учебное заведение «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь, ул. Университетская, 7, 87500, Мариуполь, Украина

^{2*} Кафедра металловедения и термической обработки металлов, Государственное высшее учебное заведение «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь, ул. Университетская, 7, 87500, Мариуполь, Украина, +38(098)2161460, NatkaKaravaeva@yandex.ua

Аннотация. *Цель.* Для очистки мелких отливок широко применяют дробеметные аппараты периодического действия. Работоспособность этих машин определяется в основном износостойкостью рабочих органов, которые испытывают интенсивный ударно-абразивный износ. Необходим режим поверхностного упрочнения, в результате которого можно получить повышение износостойкости лопастей дробеметных машин и тем самым снизить затраты на их изготовление и замену. *Методика.* Предложенный режим поверхностного упрочнения заключается в проведении цементации и последующей закалки с различных температур. Такая поверхностная обработка позволяет получить в структуре наряду с мартенситом и карбидами большое количество остаточного аустенита ($A_{ост}$), который претерпевает деформационное мартенситное превращение при изнашивании (ДМПИ) в зоне контакта. *Результаты.* Показано, что изменяя температуру под закалку, можно управлять фазовым составом, количеством и метастабильностью остаточного аустенита и механическими свойствами цементованной стали. Остаточный аустенит в этом случае, отнюдь не снижает, как это принято считать, а напротив, повышает абразивную износостойкость цементованной стали. Установлено, что для повышения сопротивления изнашиванию сталей поверхностная обработка должна быть направлена на получение в поверхностном слое метастабильной аустенитно-мартенситно-карбидной структуры, в которой метастабильный остаточный аустенит способен к ДМПИ. ДМПИ вызывает дополнительное самоупрочнение поверхностного рабочего слоя в виду образования более дисперсного и более твердого мартенсита деформации в сравнении с мартенситом закалки. Определены оптимальные режимы упрочнения, позволяющие повысить износостойкость деталей в 3-4 раза. *Научная новизна.* Разработаны новые режимы поверхностного упрочнения низколегированной стали. *Практическая значимость.* Проведенные производственные испытания лопастей дробеметных установок из стали 20ГЛ, термообработанных с использованием новых режимов упрочнения, показали, что эти детали, имеют срок службы до 90-96 ч, что в 3-4 раза превышает срок службы лопастей, применяющихся на производстве без обработки.

Ключевые слова: Цементация, закалка, метастабильный остаточный аустенит, износостойкость

ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТІ УПРАВЛІННЯ ВЛАСТИВОСТЯМИ КОНСТРУКЦІЙНИХ СТАЛЕЙ СПОСОБАМИ ПОВЕРХНЕВОГО ЗМІЦНЕННЯ

ЧЕЙЛЯХ О.П.¹, *д.т.н, проф.*,
КАРАВАЄВА Н.Є.^{2*}

¹ Кафедра металознавства і термічної обробки металів, Державний вищий навчальний заклад «Приазовський державний технічний університет», м. Маріуполь, вул. Університетська, 7, 87500, Маріуполь, Україна

^{2*} Кафедра металознавства і термічної обробки металів, Державний вищий навчальний заклад «Приазовський державний технічний університет», м. Маріуполь, вул. Університетська, 7, 87500, Маріуполь, Україна, +38(098)2161460, NatkaKaravaeva@yandex.ua

Анотація. *Мета.* Для очищення дрібних виливків широко застосовують дробеметні апарати періодичної дії. Працездатність цих машин визначається в основному зносостійкістю робочих органів, які відчувають інтенсивний ударно-абразивний знос. Потрібен режим поверхневого зміцнення, в результаті якого можна отримати підвищення зносостійкості лопатей дробеметних машин і тим самим знизити витрати на їх виготовлення та заміну. *Методика.* Запропонований режим поверхневого зміцнення полягає в проведенні цементації і подальшого гарту з різних температур. Така поверхнева обробка дозволяє отримати в структурі поряд з мартенситом і карбідами велику кількість залишкового аустеніту ($A_{зал}$), який зазнає деформацийне мартенситне перетворення при зношуванні (ДМПЗ) в зоні контакту. *Результати.* Показано, що змінюючи температуру під загартування, можна управляти фазовим складом, кількістю і метастабільністю залишкового аустеніту та механічними властивостями цементованої сталі. Залишковий аустеніт в цьому випадку, аж ніяк не знижує, як це прийнято вважати, а навпаки, підвищує абразивну зносостійкість цементованої сталі. Встановлено, що для підвищення опору

зношування сталей поверхнева обробка повинна бути спрямована на отримання в поверхневому шарі метастабільної аустенітно-мартенситно-карбідної структури, в якій метастабільний залишковий аустеніт здатний до ДМПЗ. ДМПЗ викликає додаткове самозміцнення поверхневого робочого шару шляхом утворення більш дисперсного і більш твердого мартенситу деформації в порівнянні з мартенситом гарту. Визначено оптимальні режими зміцнення, що дозволяють підвищити зносостійкість деталей в 3-4 рази. **Наукова новизна.** Розроблено нові режими поверхневого зміцнення низьколегованої сталі. **Практична значимість.** Проведені виробничі випробування лопатей дробометних установок зі сталі 20ГЛ, термооброблених з використанням нових режимів зміцнення, показали, що ці деталі, мають термін служби до 90-96 год, що в 3-4 рази перевищує термін служби лопатей, що застосовуються на виробництві без обробки.

Ключові слова: Цементация, гарт, метастабільний залишковий аустеніт, зносостійкість.

RESEARCH ON THE POSSIBILITY OF CONTROLLING THE PROPERTIES OF THE STRUCTURAL STEEL SURFACE HARDENING METHODS

CHEILIAKH A.P.¹, *Dr. Sc. (Tech.), Prof.*
KARAVAIEVA N.E.^{2*}

¹ Department of Metal Science and Heat Treatment of Metals, State Higher Education Establishment "Pryazovskyi State Technical University", Mariupol, University St., 7, 87500, Mariupol, Ukraine

^{2*} Department of Metal Science and Heat Treatment of Metals, State Higher Education Establishment "Pryazovskyi State Technical University", Mariupol, University St., 7, 87500, Mariupol, Ukraine, +38(098)2161460, NatkaKaravaeva@yandex.ua

Abstract. Purpose. For cleaning small castings are widely used blast units machines periodic action. Working capacity these machines is mainly determined by the durability of working bodies that are experiencing Shock intensity abrasive wear. Needs some regime of surface hardening, as a result of which you can increase the wear resistance of the blades shot blasting machines and thereby reduce the expense for their manufacturing and replacement. **Methodology.** Proposed regime of surface hardening is carburizing and holding followed hardening from different temperatures. This surface treatment allows to obtain in the structure along with martensite and carbides large amount of residual austenite (A_{res}), that undergoes deformation martensite transformation in wear (DMPW) in the contact zone. **Findings.** It is shown that by changing the temperature of the hardening can be controlled phase composition, the number of metastable residual austenite and mechanical properties of carburized steel. Residual austenite in this case, is not reduced, as is commonly believed, but rather increases the abrasive wear resistance of carburized steel. It was found that to improve the wear resistance of steels surface treatment should be aimed at obtaining a surface layer of metastable austenite-martensite-carbide structure in which metastable residual austenite capable of DMPW. DMPW causes additional self-strengthening of surface layers of the working means and the formation of a particulate solid a martensite deformation compared with martensite hardening. Determined the optimal hardening regimes that improve wear resistance of parts 3-4 times. **Originality.** Developed new regimes of surface hardening low alloy steel. **Practical value.** Conducted production tests of the blades of steel shot blasting systems 20Mn, heat-treated using new regimes of hardening, showed that these details have a lifespan of up to 90-96 hours, which is 3-4 times the service life of the blades that are used in manufacturing without treatment.

Keywords: Carburizing, hardening, the metastable residual austenite, wear resistance

Введение

Актуальными в настоящее время являются проблемы повышения надёжности и долговечности машин и оборудования, экономии дефицитных сплавов, решение которых может быть связано с эффективным упрочнением поверхностных слоёв изделий.

Для очистки мелких отливок широко применяют дробомётные аппараты периодического действия. Работоспособность этих машин определяется в основном износостойкостью рабочих органов, которые испытывают интенсивный удароабразивный износ.

Частицы дроби и абразива, перемещаясь по метательной лопатке под действием центробежных сил и соударений, испытывают сложное движение и

сходят с неё со скоростями 80-100 м/с. Величины контактных воздействий достигают 600-700 кгс для дробинки радиусом 3 мм при упругом ударе и 100-200 кгс при пластическом ударе. Кроме того в абразивном материале, используемом для очистки отливок, много частиц неправильной формы производят своеобразное микроцарапание и микронадрезание рабочей поверхности метательных лопатей [1].

Как показывает анализ литературы, проблему повышения надёжности и долговечности лопатей решают, в основном, технологическими путями. Для изготовления лопатей опробовано большое количество марок износостойких сталей и чугунов. При этом варьировали химсостав сплавов, модификаторы, режимы термической обработки. Такое разнообразие используемых износостойких

материалов свидетельствует, в первую очередь, о том, что до последнего времени не подобран эффективный материал, который в данных условиях нагружения полностью соответствует требованиям эксплуатации, а во вторую очередь, удовлетворяет по своим стоимостным показателям.

Износостойкость деталей, работающих в условиях ударно-абразивного изнашивания, зависит от структуры их поверхностного слоя. Наиболее благоприятной является та, которая состоит из мелкоигольчатого мартенсита, остаточного аустенита и мелких карбидов. Возможность присутствия в науглероженном слое остаточного аустенита наряду с мартенситом и карбидами до сих пор остается спорной. Его роль считается как положительной [2-4], так и отрицательной [5], однозначного мнения на этот счет нет. Прежде всего его количество и степень метастабильности зависит от температуры закалки. Данных о влиянии цементации и последующей термической обработки, в том числе и температуры закалки стали 20ГЛ, в литературе отсутствуют.

Цель

Целью данной работы является изучение возможности повышения свойств стали 20ГЛ путем поверхностного упрочнения.

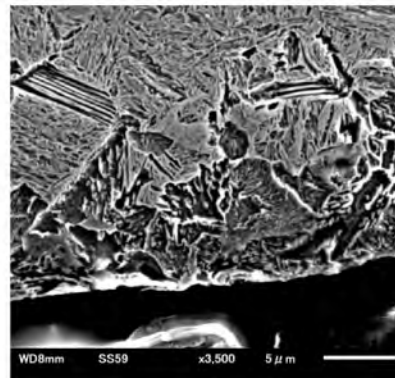
Методика

Образцы стали 20ГЛ размером 10x10x25 мм подвергались цементации в твердом карбюризаторе с выдержкой 10 часов при температуре 930 °С, закалке в масло от различных температур в интервале 800 – 1150 °С и низкому отпуску при 200 °С. Проводился металлографический анализ с применением оптического микроскопа «Nikon Eclipse L150» и электронного сканирующего микроскопа JEOL JSM-6510, оснащенного EDS системой. Исследование изношенной поверхности образцов проводили на сканирующем 3D микроскопе Digital microscope VHX-1000¹ так же проводился рентгеноструктурный фазовый анализ в К-альфа монохроматическом излучении медного анода на дифрактометре Ultima IV (Rigaku)².

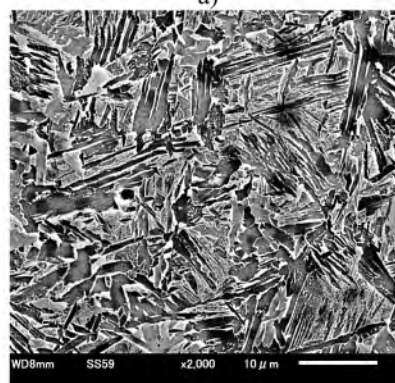
Испытания на ударно-абразивное изнашивание проводились на специально сконструированной установке [2] в среде литой чугуновой дроби (фракции 0,5 – 1,5 мм) при уровне засыпки дроби 1 см выше верхней кромки образца, угле атаки 30° с частотой вращения образцов 2800 об/мин. В качестве эталона использовалась сталь 20ГЛ после нормализации с твердостью 13 HRC.

Результаты

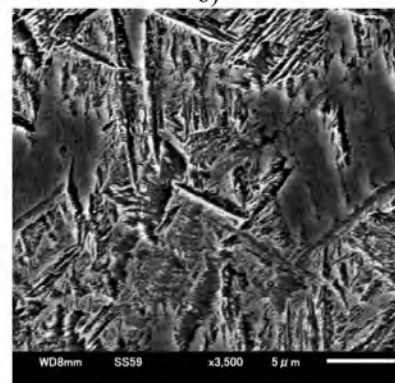
После закалки с температуры 780 °С, рекомендованной справочной литературой, поверхностный слой состоит из высокоуглеродистого мартенсита с мелкими частицами карбидов и небольшим количеством остаточного аустенита (рис. 1, а).



а)



б)



в)

Рис. 1 – Микроструктура стали 20ГЛ после цементации, закалки при 780 °С (а), 980 °С (б), 1080 °С (в) и отпуска при 200 °С/

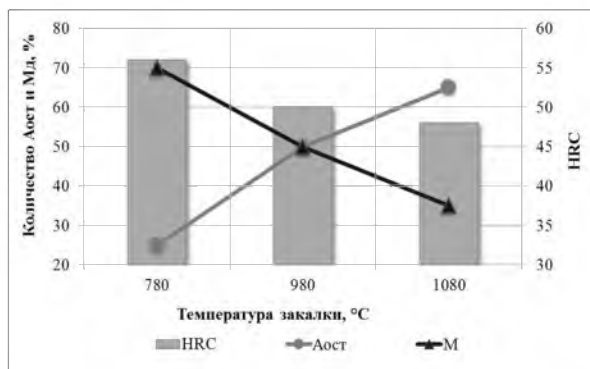
20Mn steel microstructure after carburizing, hardening at 780 °C (a) 980 °C (b) 1080 °C (c) and tempering at 200 °C

По мере повышения температуры нагрева под закалку до 980 °С количество остаточного аустенита в поверхностном слое возрастает, а количество мартенсита и карбидов уменьшается (рис. 1, б).

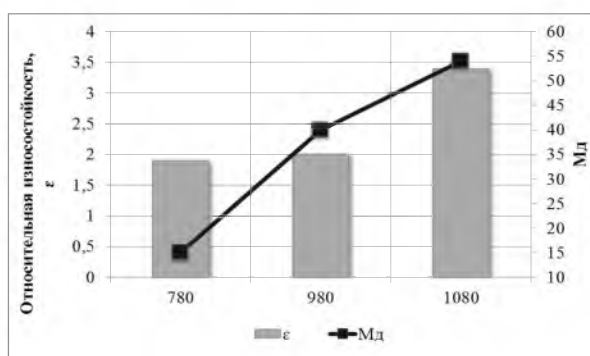
¹ Исследования выполнены в Муроранском институте технологий, г. Муроран, Япония под руководством профессора Казумичи Шимизу

² Исследования выполнены в Центре дифрактометрии Киевского политехнического института, г. Киев, на оборудовании компании Applied Rigaku Technologies

Повышение количества аустенита приводит к снижению уровня твердости (с 60 до 43 HRC) (рис. 2, а). После закалки с температуры 1080 °С микроструктура у поверхности представляет собой мелкодисперсный мартенсит, остаточный аустенит и карбиды (рис. 1, в).



а)

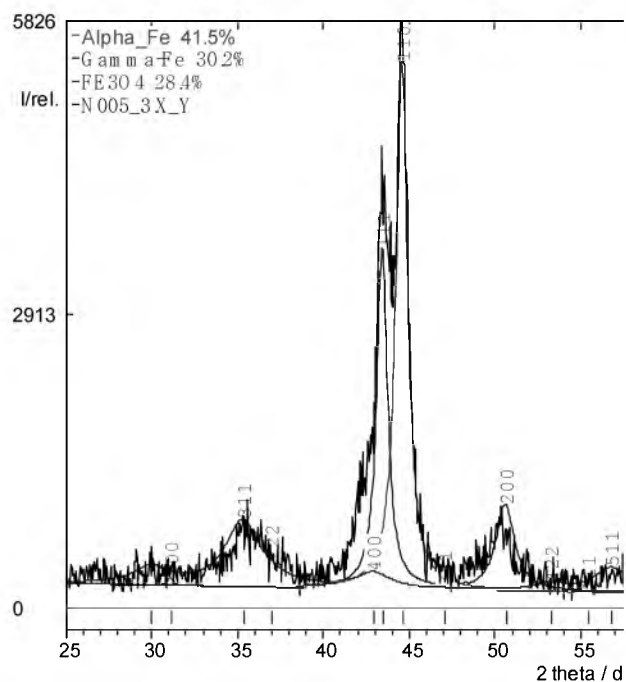


б)

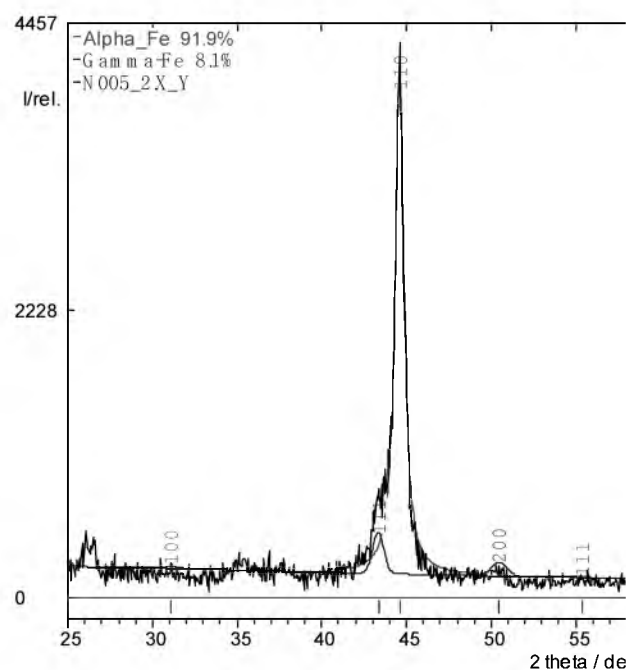
Рис. 2 – Зависимость фазового состава (а) и относительной износостойкости (б) от температуры закалки / The dependence of the phase (a) and the relative wear resistance (b) of the temperature hardening

Зависимости твердости от количества $A_{ост}$ и мартенсита деформации (M_d), а так же относительной износостойкости от количества M_d приведены на рис. 2, а, б. Высокие показатели твердости после закалки с температуры 780 °С образцов можно объяснить содержанием высокоуглеродистого мартенсита и присутствием нерастворенных карбидов в аустените. Понижение твердости с повышением температуры закалки объясняется повышением количества $A_{ост}$.

Наиболее высокие показатели относительной износостойкости получены после закалки при 1080 °С и отпуска при 200 °С. Это объясняется получением наиболее дисперсной смеси мартенсита закалки, цементита и метастабильного $A_{ост}$. Прирост количества мартенсита деформации при этом достигает $\approx 40\%$ (рис. 3). Из рентгеновских дифрактограмм, приведенных на рис. 6, видно, что соотношение интенсивностей рентгеновских линий аустенита (γ -фазы) и мартенсита (α -фазы) при изнашивании меняется в пользу мартенсита.



а)



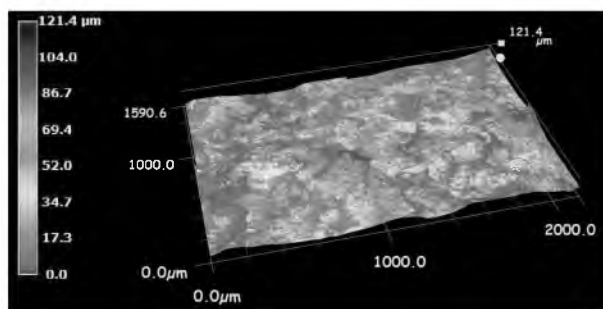
б)

Рис. 3 – Рентгеновские дифрактограммы исходной (а) и изношенной (б) поверхностей стали 20ГЛ после закалки при 1080 °С и отпуска при 200 °С / X-ray diffraction pattern of the initial (a) and after wear (b) 20Mn steel surfaces after hardening at 1080 °С and tempering at 200 °С.

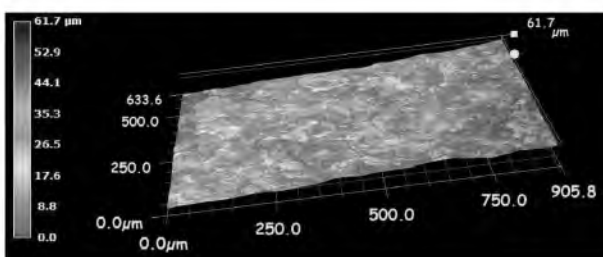
Развивающееся $\gamma_{ост} \rightarrow \alpha'$ деформационное мартенситное превращение при испытаниях (ДМПИ) сопровождается дополнительным самоупрочнением тонкого поверхностного слоя в процессе изнашивания, поскольку образующийся при испытаниях мартенсит деформации обладает

большей дисперсностью и твердостью, чем мартенсит закалки. Следует заметить, что ДМПИ сопровождается релаксацией микронапряжений [6] и является эффективным механизмом перераспределения и поглощения подводимой механической энергии трения и изнашивания [7, 8]. Закалка от более высоких температур приводит к почти полному растворению цементита, что способствует увеличению количества $A_{ост}$ до 65 %.

При исследовании изношенной поверхности образцов с помощью сканирующего 3D микроскопа Digital microscope VHX-1000, полученный рельеф поверхности подтверждает изменения относительной износостойкости. Расстояние между максимумом и минимумом по глубине изношенной поверхности при ударно-абразивном изнашивании образцов наибольшее после закалки с температуры 780 °С и составляет 121,4 мкм, а наименьшее - после закалки с температуры 1080 °С – 61,7 мкм (рис. 4). Это свидетельствует о более дифференцированной избирательности износа структуры с повышенным количеством $A_{ост}$, чем мартенситно-карбидно-аустенитной структурой (после закалки от 780 °С).



а)



б)

Рис. 4 - Поверхность образцов из цементованной стали 20ГЛ после испытаний на ударно-абразивное изнашивание. Закалка с температур: а) 780 °С; б) 1080 °С (отпуск 200 °С)/ Surface samples of carburized steel 20Mn after test on impact-abrasive wear. Hardening with temperatures: a) 780 °С; b) 1 080 °С (200 tempering °С).

Проведены производственные испытания лопастей дробеметных установок, термообработанных по новой технологии в условиях ПАО «Азовмаш».

Абсолютный износ определяли по потере массы в единицу времени при постоянном расходе дробы.

Лопатки изготавливали из стали 20ГЛ с последующей закалкой в масле от различных температур и низким отпуском. Общее время работы лопаток (от 20 до 100 часов), поставленных на стандартный ротор диаметром 500 мм с числом оборотов в 2500 мин⁻¹, определяли по принятому допустимому износу лопатки. Анализ изношенных лопастей показал, что лопасти, термообработанные по новому режиму имеют срок службы до 90-96 ч, что в 3-4 раза больше, чем срок службы лопастей, применяющиеся на производстве. Общий вид изношенных лопаток приведен на рис. 5.



а)



б)

Рис. 5 – Вид лопатки дробемета из стали 20ГЛ после испытаний в течение 24 ч: а) после обработки по новой технологии; б) без обработки/ View of steel shot blasting blades 20Mn after testing for 24 hours a) after treatment by new technology; b) no treatment

Из рис. 5 видно, что лопатки, обработанные по новой технологии равномерно изношены и могут продолжать эксплуатироваться до предельного износа по толщине детали. Ожидаемый экономический эффект от внедрения новой технологии поверхностного упрочнения составит 83454 грн

Выводы

1. Закалка цементованной и 20ГЛ с разных температур (780-1080 °С) позволяет получать в науглероженных слоях метастабильный $A_{ост}$ и

регулировать количество и степень его метастабильности в широких пределах.

2. Наиболее высокие значения относительной ударно-абразивной износостойкости цементованной стали 20ГЛ достигаются после закалки с температуры 1080 °С и низкого отпуска за счет реализации $\gamma_{\text{ост}} \rightarrow \alpha'$ ДМПИ.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ / REFERENCES

1. Щербицкий А.М. Эффективный материал для лопастей дробебетных аппаратов / А.М. Щербицкий, Омар Мохамед Абулгани // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. - №4. - С. 32-33.

Scherbitsky A.M. Effective material for of the blades shot blasting machines / A.M. Scherbitsky, Omar Mohamed Abulgani // East European Journal of advanced technologies. - №4. - pp 32-33.

2. Чейлях А.П. Экономнолегированные метастабильные сплавы и упрочняющие технологии / А.П. Чейлях. – Мариуполь: издательство ППТУ. – 2009. – 483 с.

Cheiliakh A.P. Sale-alloyed metastable alloys and hardening technology / A.P. Cheiliakh. - Mariupol: publishing PSTU. - 2009. - 483 p.

3. Малинов Л.С. Влияние цементации и последующей термообработки на структуру, фазовый состав и абразивную стойкость Fe-Cr-Mn сталей / Л.С. Малинов, А.П. Чейлях, Е.Л. Малинова // Изв. АН СССР. Металлы. – 1991. - № 1. – С. 120-122.

Malinov L.S. Effect of carburizing and subsequent heat treatment on the structure, phase composition and abrasion resistance Fe-Cr-Mn of steels / L.S. Malinov, A.P. Cheiliakh, E.L. Malinova // Math. USSR Academy of Sciences. Metals. - 1991. - № 1. - pp 120-122

4. О роли остаточных напряжений в повышении предела выносливости стали при химико-термической обработке / Б.Г. Гуревич, С.Ф. Юрьев // М.: Mashgiz, 1952. С. 43-63.

3. Предложен оптимальный режим упрочнения, состоящий из цементации и закалки при повышенной температуре 1080 °С, позволяющий получить достаточно высокие значения ударно-абразивной износостойкости.

On the role of residual stresses in increasing the endurance limit of steel with chemical-thermal treatment / B.G. Gurevich, S.F. Yuriev // М.: Mashgiz, 1952. pp 43-63.

5. А.Д. Ассонов. Технология термической обработки деталей машин. - М.: Машиностроение, 1969. – 120 с.

A.D. Assonov. Technology heat treatment of machine parts. - М.: Engineering, 1969. - 120

6. Попов В.С. Структурные изменения в нестабильно аустенитных сталях при абразивном изнашивании / В.С. Попов, Н.Н. Брыков // МИТОМ. – 1971. – № 9. – С. 54–55.

V.S. Popov Structural changes in the unstable austenitic steels with abrasive wear / V.S. Popov, N. Brykov // MandHTM. - 1971. - № 9. - pp 54-55.

7. Малинов Л.С. Повышение абразивной износостойкости цементованных сталей 18ХГТ и 12ХНЗА за счет получения метастабильного аустенита / Л.С. Малинов, Е.Л. Малинова, Е.Я. Харланова // Металлы. – 1993. – № 2. – С. 108–111.

Malinov L.S. Increasing the abrasive wear resistance carburized of steels 18CrMnTi and 12CrNi3 by obtaining metastable austenite / L.S. Raspberries, E.L. Raspberry, E.Y. Harlanova // Metals. - 1993. - № 2. - pp 108-111.

8. Геллер А.Л. Остаточный аустенит и износостойкость легированных цементованных сталей / А.Л. Геллер, В.Н. Юрко // Изв. ВУЗов. Черная металлургия. – 1991. – №6. – С. 66-69.

Geller A.L. Residual austenite and wear resistance of carburized of steels alloyed / A.L. Geller, V.N. Yurko // Math. Colleges and universities. Iron and steel. - 1991. - №6. - pp 66-69.

Статья рекомендована к публикации докт. техн. наук, проф. В. И. Большаковым (Украина); докт. техн. наук, проф. Д. В. Лаухиным (Украина)

Поступила в редколлегию 21.01.2015

Принята к печати 24.03.2015