

11. Рыбин В.В., Малышевский В.А., Хлусова Е.И. Технологии создания конструкционных наноструктурированных сталей // *Металловедение и термическая обработка металлов*. 2009, №6 (648). С. 3–7.

12. Кашенко М. П., Чашина В. Г. Динамическая теория γ - α мартенситного превращения в сплавах железа решение проблемы критического размера зерна. – М.–Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», Ижевский институт компьютерных исследований, 2010. – 132с.

Summary. The article presents a coupled mathematical model for quenching replaceable parts of tillage machine working bodies in a non-stationary water flow, taking into account phase transformations and the temperature dependence of material properties. The model makes it possible to accurately predict cooling rates and thermal stresses in order to optimize the hardening process and increase the durability of agricultural machinery.

УДК 631.363.21

Анискович Г.И., кандидат технических наук, доцент;

Шукан М.М., аспирант

Учреждение образования «Белорусский государственный аграрный технический университет», г. Минск, Республика Беларусь

ПРЕДПОСЫЛКИ РАЗРАБОТКИ ТЕХНОЛОГИИ КОМБИНИРОВАННОГО УПРОЧНЕНИЯ МОЛОТКОВ ЗЕРНОВЫХ ДРОБИЛОК

Аннотация. В статье на основании анализа возможных способов упрочнения молотков зерновых дробилок обосновано применение для повышения ресурса этих деталей комбинированной упрочняющей технологии электроискрового легирования с импульсным закалочным охлаждением жидкостью. Предлагаемая технология позволит существенно повысить долговечность упрочненных молотков и надежность работы зерновых дробилок.

Abstract. Based on an analysis of possible methods for strengthening grain crusher hammers, this article substantiates the use of a combined hardening technology of electric spark alloying with pulsed liquid quenching to increase the service life of these components. The proposed technology will significantly improve the durability of hardened hammers and the operational reliability of grain crushers.

Ключевые слова. Зерновые дробилки, молоток, упрочнение, ресурс, электроискровое легирование, импульсная закалка.

Keywords: Grain crushers, hammer, hardening, service life, electric spark alloying, pulsed quenching.

Зернодробилки молоткового типа благодаря компактности, простоте устройства, высокой надежности в работе нашли широкое распространение в агропромышленном комплексе. Основными рабочими органами этих установок являются решета, деки и молотки, состояние которых предопределяет производительность процесса и степень измельчения зерна. Эффективность использования дробилок во многом

обусловлена конструктивными параметрами и техническим состоянием молотков, обладающих наименьшим ресурсом. Нарботка этих деталей, в зависимости от измельчаемого продукта, составляет от 72 до 300 часов [1]. В процессе работы эти детали подвергаются абразивному и окислительному изнашиванию, пластической деформации и усталостному разрушению, в результате чего изменяются их геометрические размеры и форма (рисунок 1). Износ молотков приводит к повышенной вибрации дробилок и снижению качества помола.

Наибольшее распространение для упрочнения молотков дробилок нашла объемная закалка. Такой способ термообработки характеризуется существенной длительностью технологического цикла, не исключает возникновение в закаленных деталях внутренних остаточных напряжений, вызывающих деформацию и снижающих точность изготовления [2]. При эксплуатации подвергнутых объемной закалке молотков происходит неравномерный износ рабочей грани (заваливание по краям, рисунок 1), в результате чего снижается качество и производительность дробления зерна.

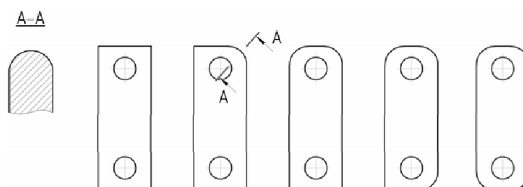


Рисунок 1 – Характер износа молотков дробилок

При изготовлении молотков применяются стали 45, 65Г, 30ХГСА и др. с использованием различных упрочняющих технологий. Упрочнение концов молотков наплавкой твердым сплавом [3] сопряжено с рядом технологических трудностей, обусловленных сложностью обеспечения точности наплавленного слоя по размерам и массе, процесс отличается высокой трудоемкостью. При работе упрочненных таким способом деталей наблюдается интенсивный износ не подвергнутых наплавке поверхностей.

Плазменное напыление молотков самофлюсующимися сплавами с последующим печным оплавлением [4] нашло ограниченное применение по причине неудовлетворительной адгезии наносимого покрытия к основе и его высокой пористостью. Существенно снижают технологическую эффективность метода возникновение остаточных напряжений и значительные припуски под последующую механическую обработку. Процесс требует тщательной подготовки к напылению поверхности и строгого контроля гранулометрического состава порошков.

Упрочняющая поверхностная термическая обработка молотков с помощью высококонцентрированных источников нагрева характеризуется

малой толщиной модифицированного слоя и склонностью к образованию в упрочненных деталях холодных трещин [5]. Эффективность применения способа снижается высокой стоимостью применяемого оборудования.

При химико-термической обработке молотков [3] требуется многочасовая выдержка деталей в печах при высоких температурах. Это делает технологию крайне энергозатратной и малоэффективной при массовом производстве.

Применение ионно-плазменного азотирования для повышения долговечности молотков, ограничено по причине малой толщины формируемого слоя, не способного длительно противостоять абразивному изнашиванию [6]. Снижают конкурентоспособность данной технологии высокая трудоемкость подготовки поверхности детали к азотированию, продолжительность процесса, необходимость создания высокого вакуума, сложность и значительная стоимость оборудования.

Упрочнение молотков зернодробилок установкой по углам (впайкой или запрессовкой) твердосплавных вставок считается одним из самых эффективных методов повышения износостойкости [7]. Однако технологическая сложность обеспечения прочного соединения «вставка-основа» и неизбежное ослабление несущего сечения молотка делают данный метод дорогостоящим и не эффективным для упрочнения деталей, работающих в условиях динамических нагрузок.

Изготовление составных молотков, в конструкции которых рабочая грань выполнена из износостойкого материала, а корпус - из вязкой стали рассматривается как один из способов упрочнения с обеспечением высокой твердости и ударной прочности [7]. Однако данный метод сопряжен с технологическими трудностями обеспечения надежного соединения составных частей молотка, а высокая трудоемкость изготовления и сложность последующей балансировки ограничивают применения данного метода.

Анализ известных технологий упрочнения молотков дробилок показывает, что их применение не всегда эффективно либо по причине невозможности обеспечения требуемых свойств упрочненным деталям, либо высокой трудоемкости, необходимости применения сложного и дорогостоящего оборудования и материалов. Поэтому возрастает интерес к использованию комбинированных методов упрочнения, представляющих сочетание двух или нескольких технологических процессов, что позволяет достичь высокой эффективности упрочнения, которую невозможно получить каким-либо одним способом.

Для упрочнения деталей из углеродистых и низколегированных сталей наибольший интерес представляют методы, сочетающие нанесение на рабочие поверхности износостойких покрытий и упрочняющей термической обработки.

На основе анализа условий работы, требований, предъявляемых к молоткам и результатов ранее проведенных исследований, для повышения

долговечности молотков зернодробилок предлагается использовать комбинированный метод упрочнения импульсной закалкой с последующей электроискровой обработкой рабочей поверхности [11].

Импульсной закалкой [9] достигается образование в материале деталей структуры с высокой дисперсностью зерна мартенсита размерами менее 100 нм, в результате чего деталь приобретает комплекс высоких значений механических свойств: прочность, твердость, ударную вязкость. Технология проста, производительна, экологически безопасна.

Электроискровое легирование, в свою очередь, позволяет повысить твердость, износостойкость, коррозионную стойкость рабочих поверхностей молотков. При электроискровом легировании в качестве электродов применяют твердые сплавы (ВК6, ВК8, Т15К6 и др.), материалы на основе карбидов и боридов металлов (TiC , WC , CrB_2 , и др.), графит и другие. Технология электроискрового легирования реализуется на относительно простом оборудовании, производительность которого не зависит от твердости и иных физических характеристик используемых материалов [10].

Технологический процесс комбинированного упрочнения осуществляется в следующей последовательности. Первоначально молотки нагреваются в печи объемного нагрева и выдерживаются при температуре закалки до завершения процесса аустенитизации. После чего поочередно помещаются в закалочное устройство и интенсивно охлаждаются потоком воды. Затем в течение 1 часа закаленные детали подвергаются низкому отпуску. После термообработки на боковые и нижние грани (рисунок 2) молотков наносится упрочняющий слой методом электроискрового легирования.

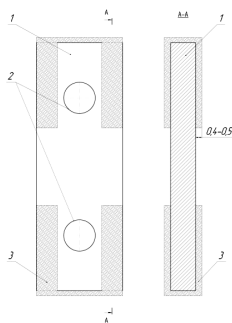


Рисунок 2 – Схема нанесения упрочняющего слоя на грани молотка зерновой дробилки: 1 – молоток; 2 – отверстия для монтажа молотков на роторе; 3 – износостойкий упрочняющий слой

При использовании электроискрового легирования в сочетании с импульсной закалкой обеспечивается получения следующих механических свойств молотков:

- высокая прочность на сжатие и растяжение (за счет образования мелкозернистой структуры основного металла после импульсной закалки);
- увеличенная износостойкость поверхностного слоя (легирующие элементы и карбиды значительно повышают устойчивость к абразивному износу);
- повышенная ударная вязкость (управление процессом интенсивного охлаждения при закалке позволяет достичь оптимального уровня пластичности в сочетании с высокой твердостью);
- градиентное распределение твердости по сечению упрочнённой детали с увеличением к поверхности (образование мартенсита в основном металле и карбидов в поверхностном слое), что способствует равномерному износу и сохранению плоской формы рабочих граней без заваливания по краям. Таким образом, комплексный подход к упрочнению молотков через сочетание электроискрового легирования и импульсного закалочного охлаждения является перспективным направлением повышения их ресурса. Для реализации метода на практике необходимо проведения исследований по оптимизации технологических параметров режимов комбинированного упрочнения и их влиянию на формирование физико-механических и эксплуатационных свойств упрочненных молотков.

Список использованной литературы

1. Пучков, С. В. Анализ изнашивания и разработка экологически чистой технологии химико-термической упрочняющей обработки рабочих органов кормоприготовительных машин : дис. ... канд. техн. наук : 05.16.01 / Пучков Сергей Владимирович. – Курск, 2007. – 134 с.
2. Буклагина Г. В. Повышение ресурса рабочих органов молотковых дробилок [Повышение долговечности рабочих органов комбинированным упрочнением рабочих поверхностей] // Инженерно-техническое обеспечение АПК : реферативный журнал. 2009. № 4. С. 1226.
3. Технология и оборудование термической и химико-термической обработки. Теория и технология термической обработки металлов и сплавов : учебное пособие / Ф. М. Носков, Л. И. Квеллис, М. В. Носков. Красноярск : СФУ, 2018. 334 с.
4. Восстановление и упрочнение молотка кормодробилок плазменными покрытиями с последующим печным оплавлением / В. Н. Гадалов, В. Г. Сальников, Б. Н. Квашин [и др.] // Вестник ВГТУ. 2011. № 9. С. 179-181.
5. Суслов, А. Г. Инженерия поверхностей деталей машин / А. Г. Суслов, В. Ф. Безъязычный, Ю. В. Панфилов. – М.: Машиностроение, 2008. – 320 с.
6. Табаков, В. П. Формирование износостойких покрытий режущего инструмента / В. П. Табаков. – Ульяновск: УлГТУ, 2008.
7. Черепанов, С. С. Повышение надежности сельскохозяйственной техники / С. С. Черепанов. – М.: Колос, 1982.

8. Лазаренко, Н. И. Электроискровое легирование металлических поверхностей / Н. И. Лазаренко. – М.: Машиностроение, 1976. – 44 с.

9. Бетенья, Г. Ф. Технология импульсного закалочного охлаждения жидкостью / Г. Ф. Бетенья // Каталог научно-технических разработок университета. – Минск : БГАТУ, 2014.

10. Балаян, Г. Е. Особенности технологии электроискрового упрочнения буровой коронки / Г. Е. Балаян, И. В. Перинская // Перспективное развитие науки, техники и технологий : сборник научных статей 12-ой Международной научно-практической конференции, Курск, 01 ноября 2022 года. – Курск: Юго-Западный государственный университет, 2022. – С. 29-33.

11. Способ изготовления пластинчатого молотка кормодробилки: пат. №24736 Респ. Беларусь : : МПК В 02С 13/28 / Анискович Г. И., Шевчук М.А., Шукан М.М. ; заявитель и патентообладатель Белорус. гос. аграр. техн. ун-т. – № а20240142 ; заявл. 20.06.2024 ; опубл. 20.11.2025.

Summary. Thus, a comprehensive approach to hammer hardening through a combination of ESD and pulse quench cooling is a promising direction for increasing the reliability and durability of hammer mills.

УДК 621.791.92 : 621.81

Миранович А.В., кандидат технических наук, доцент;

Косак А.А., магистрант; **Афанасенко Д.Е.**, аспирант

Учреждение образования «Белорусский государственный аграрный технический университет», г. Минск, Республика Беларусь

КОМБИНИРОВАННАЯ УПРОЧНЯЮЩАЯ ОБРАБОТКА ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ДЕТАЛЕЙ ЭЛЕКТРОНАСОСНЫХ АГРЕГАТОВ СЕРИИ ХЦМ

Аннотация. Выполнена многопараметрическая оптимизация комбинированной упрочняющей обработки магнитно-электрическим упрочнением с поверхностным пластическим деформированием металлических поверхностей цилиндрических деталей электронасосных агрегатов серии ХЦМ.

Abstract. A multiparameter optimization of combined strengthening treatment by magnetic-electric hardening with surface plastic deformation of metal surfaces of cylindrical parts of electric pump units of the HCM series was performed.

Ключевые слова: комбинированная упрочняющая обработка, магнитно-электрическое упрочнение, поверхностное пластическое деформирование, композиционный порошок, многопараметрическая оптимизация, износостойкость покрытия, производительность процесса.

Keywords. combined hardening treatment, magnetic-electric hardening, surface plastic deformation, composite powder, multiparameter optimization, coating wear resistance, process performance

Электронасосные агрегаты (ЭА) серии ХЦМ (герметичные центробежные насосы с магнитной муфтой) наиболее широко эксплуатируются в