

УДК 621.785.542

**Князьков В. Л.<sup>1</sup>, Левашова Е. Е.<sup>2</sup>, Пимонов М.В.<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Кандидат технических наук, <sup>2</sup>Старший преподаватель, аспирант,

<sup>3</sup>Старший преподаватель  
(КузГТУ, Кемерово)

**Knjaz'kov V. L.<sup>1</sup>, Levashova E. E.<sup>2</sup>, Pimonov M.V.<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Candidate of Technical Sciences, <sup>2</sup>Senior lecturer, graduate student,

<sup>3</sup>Senior lecturer  
(KuzSTU, Kemerovo)

## **МЕХАНИЧЕСКИЕ И ТРИБОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВОССТАНОВЛЕННОЙ ДЕТАЛИ ГОРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ПОСЛЕ УПРОЧНЕНИЯ**

### **MECHANICAL AND TRIBOLOGICAL CHARACTERISTICS OF THE RESTORED PART OF THE MOUNTAIN EQUIPMENT AFTER STRENGTHENING**

#### **Аннотация**

*В статье представлены результаты измерения микротвердости и трибологических исследований восстановленной детали вращения наплавкой, изготовленной из стали 40Х в исходном состоянии наплавки после электродугового термического упрочнения, после закалки и комбинированного сочетания закалки и электродугового термического упрочнения.*

#### **Abstract**

*The article presents the comparative results of the measurement microhardness and tribological studies the reconstructed part rotation by welding, made of 40X steel in the initial state of surfacing after electric arc hardening, after quenching and a combination hardening and electric arc hardening.*

#### **Введение**

Как известно, основными методами повышения механических свойств и создания определенной структуры восстановленных деталей горного оборудования является термическая обработка. Наиболее распространенные методы — это обработка лазером, электроискровое легирование и поверхностная закалка.

В настоящее время изучаются такие способы поверхностной термической обработки как плазменной дугой [1-6], обработка лазером [7,8], закалка с нагревом пламенем газокислородной горелкой [9-11].

При плазменной обработке значения твердости на 2...4 единицы HRC (по сравнению с объемной закалкой и ТВЧ), износостойкости и сопротивлению разрушению. Глубина упрочненного слоя составляет порядка 2,5...3,5 мм, но зачастую браковочным признаком служит износ на 0,5...0,9 мм, такая глубина упрочненного слоя затрудняет последующее восстановление детали. Отрицательным моментом данного способа является выбор плазмотрона со специализированным высоковольтным выпрямителем холостого хода 180...300 В, работа устройств сопровождается повышенным воздействием вредных и опасных производственных факторов (таких как, излучение дуги, аэрозоли, шум и металлическая пыль), из-за чего требуется специальное защитное сооружение.

При лазерной обработки в процессе воздействия концентрированного потока энергии образуется структура закалочного типа, обладающая повышенной прочностью, твердостью и износостойкостью. Для создания поверхностного слоя с такими показателями необходимо использовать мощные лазеры непрерывного излучения, которые имеют высокую стоимость, низкий КПД (до 15%) и характеризуются высокими эксплуатационными расходами.

Настоящая статья посвящена рассмотрению способа повышения механических и трибологических свойств деталей горных машин за счет закалки и электродугового упрочнения восстановленного поверхностного слоя наплавкой. Сущность предлагаемого способа заключается в восстановлении геометрических размеров детали порошковой проволокой с гарантированной твердостью 50-55 HRC и повышение значений до 60 HRC за счет электродугового термического упрочнения (ЭТУ), при котором применяется оборудование доступное на каждом горном предприятии, а именно горелка с вольфрамовым электродом, защитный газ и охлаждением водой. В качестве защитного газа применяется аргон, обладающий сравнительно не высоким потенциалом ионизации, применение диоксида углерода не рассматривается, вследствие повышенной склонности к трещинообразованию слоев, упрочненных таким способом. В процессе метода планируем получить структуру остаточного аустенита, который при эксплуатации (ударные нагрузки и абразивное изнашивание) позволяет реализовать энергопоглощающий процесс деформированного мартенситного превращения, что приведет к увеличению износостойкости.

Целью работы является сравнительный анализ механических и трибологических характеристик упрочненной поверхности такими способами как, ЭТУ, закалка и комбинированное воздействие на наплавленный слой.

Объект исследования – наплавленные образцы в два слоя в среде защитного газа ( $\text{CO}_2$ ) порошковой проволокой 35Х5ГНФВМ на подложку из

стали 40Х, диаметром 200 мм, режимы наплавки:  $I_{cv}=170-250A$ ,  $U=15-18V$ . Для наплавки использовали сварочное оборудование KEMMPI FastMig MXF65. Перед наплавкой выполнили предварительный подогрев детали (до  $300^{\circ}C$ ), для предотвращения образования холодных трещин, после наплавки проводили отпуск при температуре  $250^{\circ}C$  с охлаждением в печи.

План исследований состоял в анализе значений микротвердости и относительного изнашивания наплавленного слоя, наплавленного слоя после ЭТУ, наплавленного слоя после закалки, наплавленного слоя после комбинированного воздействия закалкой и ЭТУ.

В качестве присадочного материала для ЭТУ применяли вольфрамовый электрод на прямой полярности, защитный газ – аргон, охлаждающая жидкость – вода, шаг ЭТУ составлял 1 мм (рис. 1). Режим ЭТУ представлен в таблице 1. Исходный наплавленный слой был подвергнут закалке при  $T=880-900^{\circ}C$  на протяжении 120 мин с охлаждением в масле.

Таблица 1 - Режим ЭТУ

Сила тока, А	Плотность тока, А/мм <sup>2</sup>	Напряжение на дуге, В	Погонная энергия, КДж/мм	Скорость вращения детали, м/с	Угол заочки электрода, °
70-80	22,3	22,5-22,8	0,03	0,02	60



a)



б)

Рисунок 1 – Проведение ЭТУ, а – установка образца в патрон станка, б – поверхность образца после упрочнения

### Методики эксперимента

Измерение микротвердости, выполняли на приборе DuraScan-20 по [12], вдавливанием наконечника (четырехугольной пирамидой с квадратным основанием) под нагрузкой HV 3 (29,42 Н) приложенной в течение 15 с, при увеличении  $\times 100$ , схема измерений представлена на рис.2.

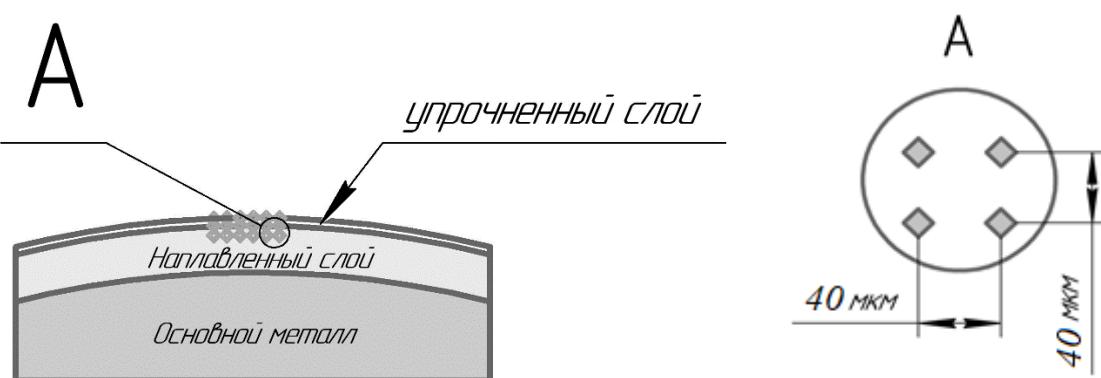


Рисунок 2 – Схема измерения микротвердости

Для определения износостойкости деталей горных машин и оборудования применяют испытания на абразивную стойкость, основанные на многократном изнашивании полированных поверхностей образцов о закрепленные частицы.

Образцы наплавленного металла изнашивали о листовой абразив №6 с последующим очищением в воде и высушиванием, после каждого периода истирания устанавливали новый абразив. Анализ износа проводили взвешиванием после каждого периода на аналитических весах. Износ образцов происходил равномерно по всей поверхности, направление вращения круга в каждом периоде менялся, схема исследований представлена на рисунке 3.

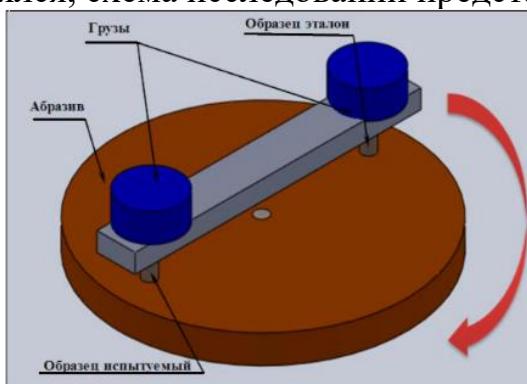


Рисунок 3 – Принцип испытания на абразивный износ

### Результаты и их обсуждение

По полученным значениям микротвердости построены графики по глубине упрочненного слоя (рис. 4).

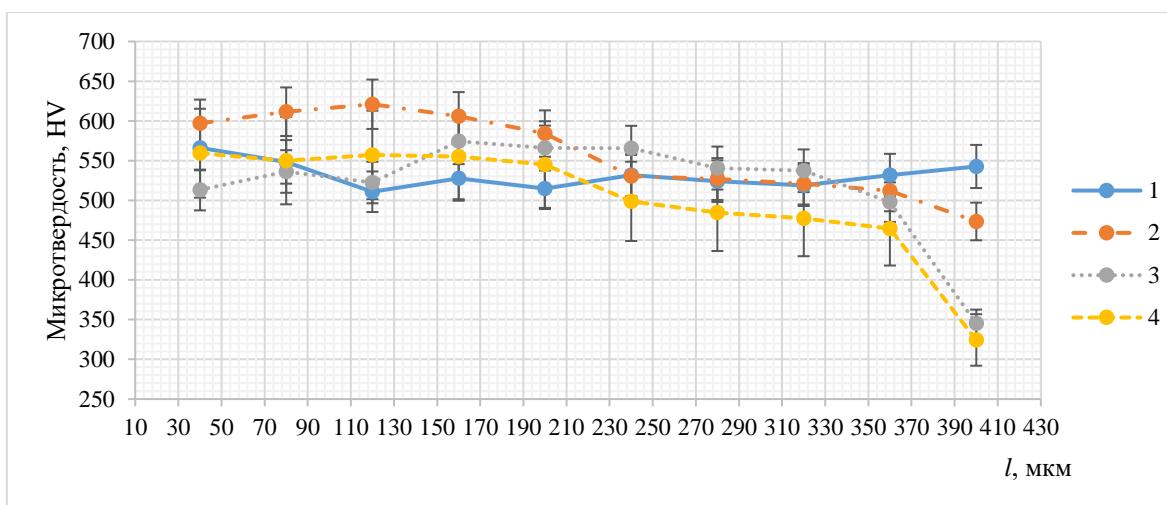


Рисунок 4 – Распределение микротвердости по глубине наплавленной поверхности: исходная наплавка – 1; наплавленный слой после ЭТУ – 2; наплавленный слой после закалки – 3; наплавленный слой после закалки и ЭТУ - 4

На основании установленных экспериментальных данных были построены зависимости относительной абразивной стойкости (относительной потери веса) от способа упрочнения образцов. Методика определения износостойкости предусматривает испытания образцов на износ относительно образца, вырезанного из детали «ось» экскаватора P&H2800 XPC (рисунок 5).

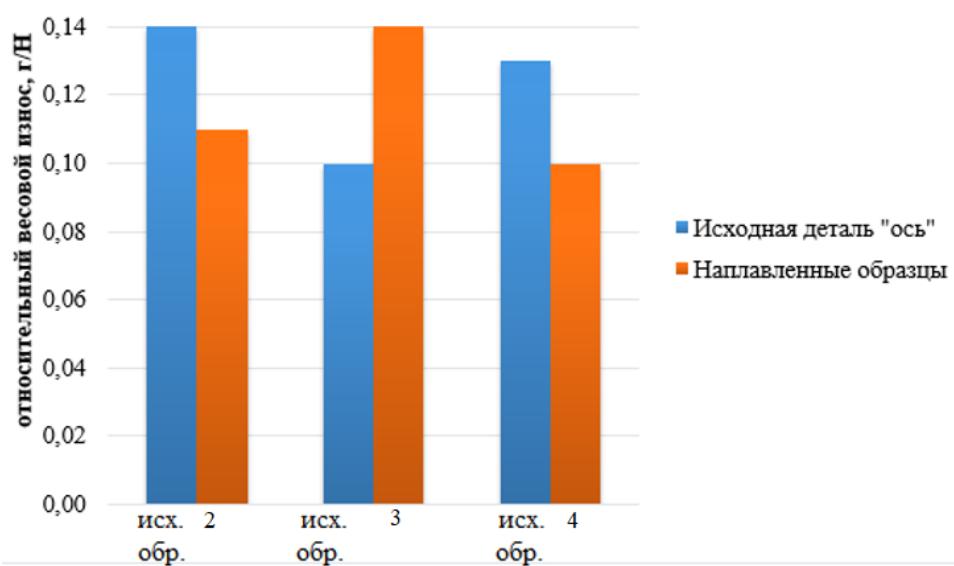


Рисунок 5 – Относительный весовой износ наплавленных покрытий в зависимости от способа упрочнения поверхностного слоя: наплавленный слой после ЭТУ – 2; наплавленный слой после закалки – 3; наплавленный слой после закалки и ЭТУ - 4

Результаты испытаний позволяют установить, что образец наплавленный порошковой проволокой 35Х5ГНФВМ и подвергнутый закалке и ЭТУ приводит к снижению объема износа. При этом наблюдаются существенные потери массы образца после закалки значения микротвердости которого ниже по сравнению с образцом после ЭТУ, имеющий незначительные потери массы.

### **Выводы**

Таким образом, исследования механических и трибологических свойств упрочненных поверхностей показывают, что подходящим способом является как ЭТУ после закалки, так и ЭТУ без закалки, т.к. результаты относительного износа образца после ЭТУ не значительно отличаются, но значения микротвердости выше образца упомянутого выше.

*Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РНФ, соглашение №14-09-00724 и гранта Президента РФ для поддержки молодых кандидатов наук, МК-1341.2017.8 и Фонда Содействия Инновациям, договор №12838ГУ/2018.*

### **Литература**

1. Малаховский, В. А. Плазменные процессы в сварочном производстве: учеб. пособие / В. А. Малаховский. – М.: Высш. шк., 1988. – 72 с.
2. Коротков, В. А. Восстановление и упрочнение деталей и инструмента плазменными технологиями / В. А. Коротков, А. А. Бердников, И. А. Толстов. – Челябинск: Металл, 1993. – 144 с.
3. Плазменное поверхностное упрочнение / Л. К. Лещинский, С. С. Самотугин, И. И. Пирч, В. И. Комар. – Киев: Техника, 1990. – 109 с.
4. Устройство плазменной закалки изделий из стали и чугуна в автоматическом и ручном режиме двухдуговым плазмотроном: пат. на полезную модель RUS № 95665 / Е. Н. Сафонов, В. С. Демин, И. С. Дружинин, Л. В. Чадин. – Заявл. 29.12.2009; опубл. 10.07.2010. Бюл. № 19.
5. Домбровский, Ю. М. Обработка стали воздушно-плазменной дугой со сканированием / Ю. М. Домбровский, А. В. Бровер // Металловедение и термическая обработка металлов. – 1999. – № 1. – С. 10–13.
6. Упрочнение чугунных валков методом плазменной закалки / А. А. Бердников, В. С. Демин, Е. Л. Серебрякова [и др.] // Сталь. – 1995. – № 1. – С. 56–59.
7. Лазерная и электроннолучевая обработка материалов: справ. / Н. Н. Рыкалин, А. А. Углов, И. В. Зуев [и др.]. – М.: Машиностроение, 1985. – 496 с.
8. Методы поверхностной лазерной обработки / А. Г. Григорьянц, А. Н. Сафонов; под ред. А. Г. Григорьянца. – М.: Высшая школа, 1987. – 191 с.

9. Сафонов, Е. Н. Поверхностное упрочнение железоуглеродистых сплавов дуговой закалкой / Е. Н. Сафонов, В. И. Журавлев // Сварочное производство. – 1997. – № 10. – С. 30–32.
10. Сафонов, Е. Н. Принципы электродугового поверхностного упрочнения железоуглеродистых сплавов / Е. Н. Сафонов, В. И. Журавлев, В. В. Стариakov // «Синергетика – 96»: материалы Междунар. симп. – М., 1996. – С. 25–27.
11. Поверхностное упрочнение чугуна с шаровидным графитом электрической дугой прямого действия / В. И. Журавлев, Е. Н. Сафонов, В. В. Стариakov [и др.] // Известия вузов. Черная металлургия. – 1994. – № 10. – С. 48–49.
12. ГОСТ Р ИСО 6507-1-2007. Металлы и сплавы. Измерение твердости по Виккерсу. Часть 1. Метод измерения. – Москва: Изд-во Стандартинформ, 2008. – 2 с