

4. Акулович, Л.М. Термомеханическое упрочнение деталей в электромагнитном поле. – Полоцк : ПГУ. 1999. – 240 с.

5. Акулович, Л.М. Оптимизация технологических факторов магнитно-электрического упрочнения / Л.М. Акулович [и др.] // Известия Национальной академии наук Беларуси. Серия физико-технических наук. - 2020. Т. 65, № 4. - С. 404-412. <https://doi.org/10.29235/1561-8358-2020-65-4-404-412>

6. Яшерицын, П. И. Планирование эксперимента в машиностроении / П. И. Яшерицын, Е. И. Махаринский. – Минск: Вышэйшая школа, 1985. – 236 с.

7. Гмурман, В. Е. Теория вероятностей и математическая статистика / В. Е. Гмурман. – М.: Высшая школа, 2003. – 479 с.

Summary. By means of multiparameter optimization and accepted limitations for combined strengthening treatment of various composite powders, technological processing modes are recommended.

УДК 621.791.92 : 621.81

Миранович А.В.¹, кандидат технических наук, доцент;

Афанасенко Д.Е.¹, аспирант

Афанасенко Е.В.², кандидат технических наук, доцент

¹ Учреждение образования «Белорусский государственный аграрный технический университет», г. Минск, Республика Беларусь

² Учреждение образования «Белорусская государственная орденов Октябрьской Революции и Трудового Красного Знамени сельскохозяйственная академия», г. Горки, Республика Беларусь

УСТРОЙСТВО ДЛЯ КОМБИНИРОВАННОЙ УПРОЧНЯЮЩЕЙ ОБРАБОТКИ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ НЕЖЕСТКИХ ДЕТАЛЕЙ

Аннотация. Разработано устройство для комбинированной упрочняющей обработки магнитно-электрическим упрочнением с поверхностной пневмовибродинамической обработкой металлических поверхностей нежестких деталей. Представлены результаты исследований микротвердости и качества покрытий, полученных комбинированной упрочняющей обработкой.

Ключевые слова: способ, устройство, комбинированная упрочняющая обработка, магнитно-электрическое упрочнение, поверхностная пневмовибродинамическая обработка, качество поверхностных слоев.

Abstract. A device for combined strengthening treatment has been developed, combining magnetic-electric hardening with surface pneumo-vibro-dynamic processing of metal surfaces of non-rigid parts. The paper presents research results on microhardness and coating quality obtained via combined strengthening treatment.

Keywords. method, device, combined hardening treatment, magneto-electric hardening, surface pneumovibrodynamic treatment, quality of surface layers.

Известно [1, 2], что потеря работоспособности агрегатов и узлов авто-тракторной и сельскохозяйственной техники обусловлена преимущест-

венно процессами изнашивания сопряженных поверхностей деталей. При этом до 80 % выбраковываемых деталей имеют износ цилиндрических поверхностей не более 0,5 – 0,6 мм на диаметр. Изношенные поверхности большинства таких деталей могут быть восстановлены в условиях ремонтных предприятий республики применением современных технологий, к числу которых относятся различные способы упрочнения и восстановления, основанные на использовании концентрированных потоков энергии [3, 4]. Одним из таких способов является магнитно-электрическое упрочнение (МЭУ) металлических поверхностей композиционными ферромагнитными порошками (КФМП), обеспечивающее высокую прочность сцепления покрытий с основным материалом деталей [3, 5]. Это обусловило целесообразность применения МЭУ для упрочнения и восстановления нежестких деталей (например, втулки, гильзы, кольца, полые валы, штоки и др.). Вместе с тем, такие возникающие дефекты в процессе обработки, как разнотолщинность и недостаточно высокая сплошность покрытий не позволяют использовать МЭУ для упрочнения и восстановления поверхностей деталей автотракторной и сельскохозяйственной техники, износ которых превышает 0,2 мм на диаметр.

Для устранения указанных недостатков на кафедре технологии металлов БГАТУ разработано устройство для комбинированной упрочняющей обработки (КУО) нежестких деталей типа тел вращения, реализация которого осуществляется на принципиально новом технологическом оборудовании для МЭУ с последующей пневмовибродинамической обработкой (ПВДО). Комбинированная упрочняющая обработка рабочих поверхностей деталей выполняется производственным модулем модели УНПРМ-1, смонтированным на базе токарного станка модели JEY BD-8VS, посредством нанесения капель-расплава материала КФМП на установке для МЭУ модели УМЭУ-2 и одновременным поверхностным пластическим деформированием сформированных поверхностных слоев рабочим органом – ударником-насадкой пневмоинструмента для ПВДО (рисунок).

Принцип работы устройства заключается в подаче в рабочий зазор между полюсным наконечником 5 и обрабатываемой поверхностью детали из бункера-дозатора 1 КФМП (например, Fe-10% V, C-300, P6M5K5, P6M5Ф3, ПЖРВ-2) зернистостью 150 – 300 мкм в потоке смазывающе-охлаждающей жидкости (СОЖ – раствор эмульсола Э2Б). Под воздействием постоянного магнитного поля (ПМП), формируемого системой неодимовых постоянных магнитов 4, частицы КФМП выстраиваются вдоль магнитных силовых линий в виде цепочек-электродов. Конструкция системы магнитов создает оптимальную форму магнитных потоков, обеспечивающих постоянную величину магнитной индукции в рабочем зазоре в пределах 0,8 Тл и приближает распределение магнитного поля по торцу

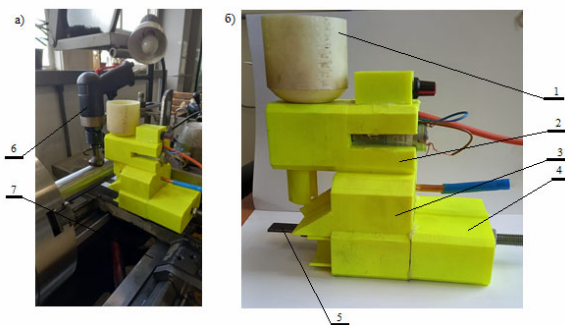
полюсного наконечника к однородному. По частицам КФМП от сварочного инвертора модели InvertecV270T (на рисунке не показан) пропускается технологический ток силой 100 – 190 А, под влиянием которого цепочки-электроды нагреваются, расплавляются и в виде капель-расплава материала порошка переносятся на обрабатываемую поверхность детали. Вследствие воздействия ПМП обеспечивается более равномерное формирование разрядных цепочек из частиц КФМП вдоль магнитных силовых линий в рабочем зазоре. В рабочей зоне устройства происходит стабилизация режима короткого замыкания, позволяющая получить устойчивый процесс МЭУ и равномерное распределение капель расплава материала КФМП по поверхности. При КУО детали МЭУ с ПВДО покрытия, в виде монолитных соединений расплавленного порошка с основой, дополнительно подвергаются воздействию рабочего инструмента ПВДО, который сглаживает гребешки микронеровностей поверхности после МЭУ. Это позволяет значительно снизить количество концентраторов электромагнитного поля, за счет которых при МЭУ электроэрозия расплавленного порошка в зоне нанесения покрытия становится эквивалентной переносимому на основу заготовки материалу. Следует отметить, что комбинированная обработка поверхностей деталей МЭУ с ПВДО позволяет получить толщину наплавленного слоя 0,5 – 1,0 мм на диаметр. При этом ПВДО, как низкотемпературный процесс, может положительно влиять на остаточные напряжения, возникающие в процессе МЭУ, и обеспечивать получение сжимающих напряжений, повышающих усталостную прочность обработанных изделий. С учетом обеспечения устойчивости и стабильности процесса комбинированной обработки МЭУ с ПВДО возникает возможность прогнозирования физико-механических и качественных характеристик упрочняемых поверхностных слоев деталей.

Цель исследований – выполнить сравнительный анализ физико-механических свойств и параметров качества поверхностных слоев, полученных традиционным способом МЭУ и способом комбинированной упрочняющей обработка МЭУ с ПВДО.

Исследования проводились на цилиндрических образцах из стали 45 с покрытиями из КФМП ФБХ-6-2 и Р6М5К5, полученными МЭУ и КУО МЭУ с ПВДО. МЭУ поверхностей выполнялось на установке модели УМЭУ-2, КУО – производственным модулем модели УНПРМ-1 на оптимальных режимах [2, 5]. ПВДО осуществлялось рабочим органом пневмоинструмента – тарельчатым ударником-насадкой, обеспечивающим контакт с обрабатываемой поверхностью с частотой ударного воздействия около 4,5 тыс. уд/мин. Толщина упрочненных поверхностных слоев определялась по распределению микротвердости на приборе ПМТ-3М; разнотолщинность – по разности максимальной и минимальной местных тол-

щин покрытий образца; объемная пористость покрытий – методом гидростатического взвешивания. Измерение шероховатости поверхности производилось на профилографе-профилометре Mitutoyo SJ-201P.

В процессе экспериментальных исследований выявлено, что наибольшее значение средней микротвердости (рисунок) наблюдается у покрытий из КФМП ФБХ-6-2, полученных КУО МЭУ с ПВДО, и составляет $676 \text{ HV}_{0,05}$, что на 8,0% больше микротвердости покрытий, полученных МЭУ ($622 \text{ HV}_{0,05}$) и в 3,3 раза больше по сравнению с материалом основы ($206 \text{ HV}_{0,05}$). Это обстоятельство обусловлено формированием мелкодисперсной мартенситной структуры упрочненных слоев в результате их разогрева и линейного поверхностного пластического деформирования с последующим скоростным охлаждением.



а – устройство КУО (МЭУ с ПВДО); б – электромагнитная система устройства КУО (МЭУ с ПВДО)

- 1 – бункер-дозатор; 2, 3 – система подачи КФМП, СОЖ в рабочий зазор;
4 – замкнутая магнитная система; 5 – полюсный наконечник с механизмом регулирования рабочего зазора; 6 – инструмент для ПВДО;
7 – токарно-винторезный станок модели JEY BD-8VS

Рисунок – Установка для комбинированной упрочняющей обработки рабочих поверхностей нежестких деталей МЭУ с ПВДО

При этом микротвердость покрытий из КФМП ФБХ-6-2 и Р6М5К5 после ПВДО повышается на 6,7 – 8,9%, что объясняется равномерным распределением по обрабатываемой поверхности расплава материала КФМП, уменьшением концентрации остаточного аустенита. Установлено, что незначительные колебания и достаточно плавное изменение значений микротвердости по толщине покрытий, полученных КУО МЭУ с ПВДО порошков ФБХ-6-2 и Р6М5К5, обусловлены однородностью и плотностью нанесенных слоев. Результаты исследований качественных характеристик упрочненных поверхностей КФМП (таблица) показывают, что КУО МЭУ с ПВДО по сравнению с МЭУ покрытий при уменьшении

средней их толщины на 3,27 – 3,39%, позволяет повысить качество за счет снижения их объемной пористости в 1,11 – 1,12 раза и средней разнотолщинности до 1,36 – 1,40 раза.

Таблица – Показатели качества упрочненных поверхностей

Материал покрытия из КФМП	Средняя толщина покрытий, мкм	Средняя разнотолщинность покрытий, мкм	Объемная пористость покрытий, %
Магнитно-электрическое упрочнение			
ФБХ-6-2	244	40	2,8
Р6М5К5	240	46	3,0
Магнитно-электрическое упрочнение с ПВДО			
ФБХ-6-2	236	36	2,0
Р6М5К5	232	41	2,2

В результате выполненных исследований установлено:

1. ПВДО покрытий, полученных МЭУ, позволяет увеличить их микротвердость на 6,7 – 8,9% по сравнению с обработанными поверхностями только МЭУ.

2. ПВДО нанесенных покрытий МЭУ позволяет уменьшить среднюю их толщину на 3,27 – 3,39%, а также снизить их объемную пористость в 1,11 – 1,12 раза и среднюю разнотолщинность до 1,36 – 1,40 раза.

Список использованной литературы

1. Акулович, Л.М. Анализ высокоэффективных методов обработки при проектировании технологических комплексов / Л. М. Акулович [и др.] // Инженерно-физический журнал. – 1999. Т. 72, № 5. – С. 971–979. <https://elib.psu.by/handle/123456789/32902>

2. Акулович, Л.М. Термомеханическое упрочнение деталей в электромагнитном поле. – Полоцк : ПГУ. 1999. – 240 с.

3. Чижик, С.А. Комбинированный способ упрочнения и финишной абразивной обработки поверхностей деталей в магнитном поле / С.А. Чижик [и др.] // Упрочняющие технологии и покрытия. – 2021. Т. 17. № 11 – С. 509–520. DOI:10.36652/1813-1336-2021-17-11-509-519

4. Акулович, Л.М. Оптимизация технологических факторов магнитно-электрического упрочнения / Л.М. Акулович [и др.] // Известия Национальной академии наук Беларуси. Серия физико-технических наук. – 2020. Т. 65, № 4. – С. 404–412. <https://doi.org/10.29235/1561-8358-2020-65-4-404-412>

5. Акулович, Л.М. Магнитно-электрическое упрочнение поверхностей деталей сельскохозяйственной техники / Л.М. Акулович, А.В. Миранович. – Минск : БГАТУ, 2016. – 236 с.

Summary. The paper presents research results on microhardness and coating quality obtained via combined strengthening treatment.