

УДК 621.791.92 : 621.81

ИССЛЕДОВАНИЕ МИКРОТВЕРДОСТИ И КАЧЕСТВЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОКРЫТИЙ, ПОЛУЧЕННЫХ МАГНИТНО-ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ УПРОЧНЕНИЕМ С ПНЕВМОВИБРОДИНАМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКОЙ**Миранович А.В.**, к.т.н., доцент, **Афанасенко Д.Е.**, аспирант, **Косак А.А.**, магистрант
Белорусский государственный аграрный технический университет, г. Минск

Основными недостатками износостойких покрытий, полученных магнитно-электрическим упрочнением (МЭУ) на нежестких деталях, являются наличие в формируемых поверхностных слоях растягивающих остаточных напряжений [1, 2], а также присутствие в них таких дефектов, как разнотолщинность, поры, несплошности [3, 4]. Исключить эти недостатки предлагается посредством совмещения МЭУ с абразивной обработкой и их последующей поверхностной пневмовибродинамической обработкой (ПВДО), что позволяет одновременно обеспечить нанесение покрытий, а также их последующие смятие и сглаживание микронеровностей на обработанных шлифованием поверхностях.

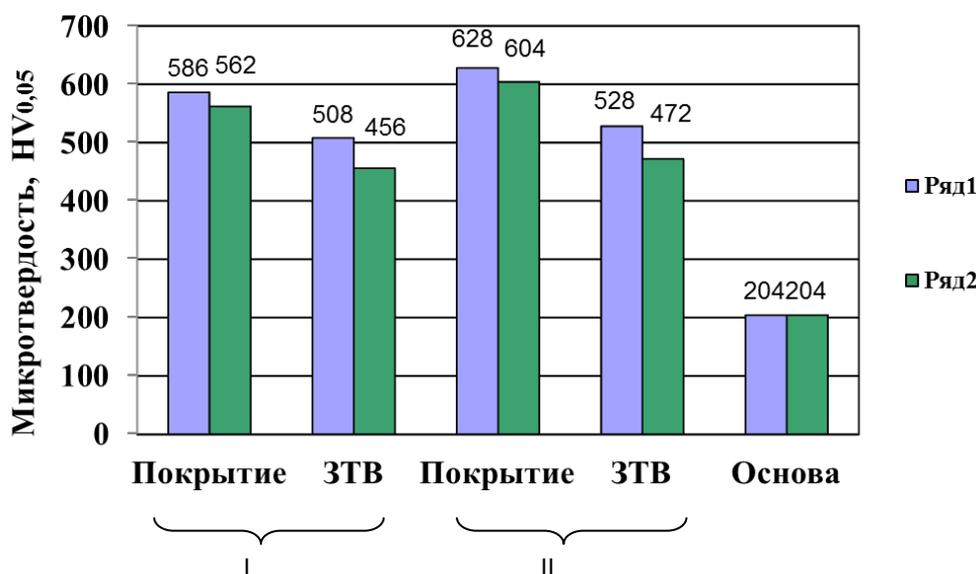
Целью исследований в работе являлось изучение микротвердости и качественных характеристик покрытий, полученных комбинированным способом МЭУ, абразивной и пневмовибродинамической обработки.

Изучение качественных свойств покрытий, полученных последовательным нанесением паст, состоящих из композиционных ферромагнитных порошков (КМП) – ФБХ-6-2 и Fe-5%V, а также связующего (эпоксидная смола ЭДП, растворенная в жидком стекле (ГО РБ 02974150 – 015 – 99), и их обработкой МЭУ с ПВДО на цилиндрические образцы из стали 45 (ГОСТ 1050-88).

Упрочнение поверхностей выполнялось на оптимальных режимах: МЭУ на установке модели УМЭУ-1 с одновременной обработкой формируемого покрытия режущим абразивным кругом карбида кремния зеленого зернистостью 16–25 [2, 4]; ПВДО – специальным инструментом с рабочими телами (шариками радиусом 3 мм) и подачей сжатого воздуха под давлением 0,1 МПа [3, 4]. Микротвердость определялась на приборе ПМТ-3М по стандартной методике, толщина поверхностных слоев – по распределению микротвердости. Измерение шероховатости поверхности производилось на профилографе-профилометре Mitutoyo SJ-201P, объемной пористость покрытий – методом гидростатического взвешивания.

Установлено, что покрытия из КМП ФБХ-6-2 и Fe-5%V, упрочненные МЭУ с ПВДО, по сравнению с МЭУ имеют более высокую плотность и однородность слоев с присутствующими более мелкими порами (менее 0,10 мкм) по границам зерен или ячеек, большую протяженность ЗТВ (более 450 мкм), менее выраженную поверхность раздела между покрытием и основой. Это подтверждается результатами исследований микротвердости покрытий. Так, выявлено, что наибольшее значение средней микротвердости (рисунок) наблюдается у покрытий из КМП ФБХ-6-2, полученных МЭУ с ПВДО, и составляет 628 HV_{0,05}, что на 7,6% больше микротвердости покрытий, полученных МЭУ (586 HV_{0,05}), и в 3,1 раза больше по сравнению с материалом основы (204 HV_{0,05}).

Это связано, в первую очередь, вследствие образования малоуглеродистого мартенсита и наличия структурно-свободного δ-феррита, на участках, прилегающих к основе. На самой границе с основой со стороны покрытия образуется тонкий слой со структурой полной закалки, что связано с диффузией углерода из материала основы в жидкую фазу покрытия. При этом покрытие имеют микроструктуру мелкодисперсного строения и представляет собой конгломерат твердых и пластичных фаз, когерентно связанных между собой, и состоит из основы – твердого раствора хрома в α-железе, а также остаточного аустенита, карбидов (Fe₂C, Cr₇C₃), боридов (FeB, CrB₂, Cr₅B₃) и ферроборида (Cr_{1,65}Fe_{0,35}B_{0,96}).



Ряд: 1 – КМП Fe-5% V; 2 – КМП ФБХ-6-2;
ЗТВ – зона термического влияния

Рисунок – Диаграмма результатов исследований микротвердости упрочненных поверхностей МЭУ (I), МЭУ с ПВДО (II)

Это связано, в первую очередь, вследствие образования малоуглеродистого мартенсита и наличия структурно-свободного δ -феррита, на участках, прилегающих к основе. На самой границе с основой со стороны покрытия образуется тонкий слой со структурой полной закалки, что связано с диффузией углерода из материала основы в жидкую фазу покрытия. При этом покрытие имеют микроструктуру мелкодисперсного строения и представляет собой конгломерат твердых и пластичных фаз, когерентно связанных между собой, и состоит из основы – твердого раствора хрома в α -железе, а также остаточного аустенита, карбидов (Fe_2C , Cr_7C_3), боридов (FeB , CrB_2 , Cr_5B_3) и ферроборида ($\text{Cr}_{1,65}\text{Fe}_{0,35}\text{B}_{0,96}$).

Упрочненные слои имеют тонкодисперсное строение с размером кристаллитов в пределах 17,30–30,20 Нм; плотность дислокаций (хаотических), в объемах кристаллов в пределах $(11,6213\text{--}12,6396) \cdot 10^8$, $1/\text{см}^2$; относительную среднеквадратическую микродеформацию в пределах $(22,72\text{--}36,83) \cdot 10^{-4}$.

Результаты исследований (таблица) показывают, что МЭУ с ПВДО покрытий по сравнению с МЭУ при уменьшении средней их толщины на 10,2 – 12,1 %, позволяет повысить качество упрочненных поверхностей за счет снижения их объемной пористости в 1,4 – 1,8 раза, средней шероховатости по параметру Ra в 2,1 – 2,9 раза.

Таблица – Показатели качества упрочненных поверхностей

Материал КМП	Средняя толщина покрытий, мкм	Объемная пористость покрытий, %	Средняя шероховатость поверхности (Ra), мкм
Магнитно-электрическое упрочнение с обработкой абразивным кругом			
ФБХ-6-2	287	3,8	3,0
Fe-5% V	273	3,5	2,5
Магнитно-электрическое упрочнение с обработкой абразивным кругом и пневмовибродинамическим инструментом			
ФБХ-6-2	254	2,5	1,5
Fe-5% V	250	2,2	1,0

В результате выполненных исследований установлено:

1. ПВДО покрытий после МЭУ позволяет получить более высокую плотность и однородность слоев с присутствующими более мелкими порами (менее 0,10 мкм) по границам зерен или ячеек, большую протяженность ЗТВ (более 450 мкм), а также увеличить микротвердость покрытий на 7,6%.

2. Комбинированная магнитно-электрическая обработка поверхностей по сравнению с МЭУ позволяет повысить качество покрытий за счет уменьшения их объемной пористости в 1,4-1,8 раза и средней шероховатости поверхности по параметру Ra в 2,1-2,9 раза.

Литература

1. Черноиванов, В.И. Восстановление деталей машин / В.И. Черноиванов, И.Г. Голубев. – М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2010. – 376 с.
2. Акулович, Л.М. Термомеханическое упрочнение деталей в электромагнитном поле. – Полоцк : ПГУ, 1999. – 240 с.
3. Кожуро, Л.М. Обработка деталей машин в магнитном поле / Л.М. Кожуро, Б.П. Чемисов. – Минск: Наука и техника, 1995. – 232 с.
4. Акулович, Л.М. Магнитно-электрическое упрочнение поверхностей деталей сельскохозяйственной техники / Л.М. Акулович, А.В. Миранович. – Минск : БГАТУ, 2016. – 236 с.

УДК 62-192(07)

ОБЕСПЕЧЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ РЕЗЕРВИРОВАНИЕМ

Круглый П.Е., к.т.н., доцент, Василевский П.Н., Шукан М.М.

Белорусский государственный аграрный технический университет, г. Минск

Так как ожидать существенного повышения безотказности современной техники за счет только конструктивных решений не приходится, поскольку ее сложность растет быстрее надежности составляющих элементов, то перспективным методом повышения эксплуатационной надежности становится резервирование [1,2,3].

Для повышения эксплуатационной надежности технической системы возможно использование следующих методов резервирования: нагруженного и ненагруженного, полнокомплектного и поэлементного, с восстановлением и без восстановления [4,5]. Рассмотрим различные методы с целью определения наиболее эффективных из них.

Сравним вероятность безотказной работы нерезервированной технической системы ($P_1(t)$), дублированной системы с нагруженным резервом ($P_2(t)$) и дублированной системы с ненагруженным резервом ($P_3(t)$). Для простоты рассмотрим системы без восстановления [6]:

$$P_1(t) = e^{-\lambda t}; \quad (1)$$

$$P_2(t) = 2e^{-\lambda t} - e^{-2\lambda t}; \quad (2)$$

$$P_3(t) = e^{-\lambda t} (1 + \lambda t), \quad (3)$$

где λ – параметр потока отказов технической системы.

Результаты расчета (при $\lambda = 0,17ч^{-1}$) по уравнениям (1)...(3) приведены в таблице 1.

Как видно из таблицы 1 наибольшую вероятность безотказной работы имеет система с ненагруженным резервом.