

осуществляться под контролем средств автоматики, работающих с индексом ТНІ для достижения определенного показателя влажности.

Список использованной литературы

1. Комплексные нормы технологического проектирования новых, реконструкции и технического перевооружения существующих животноводческих объектов по производству молока, говядины и свинины, КНТП–1–2020 / И. В. Брыло [и др.] // Секция животноводства НТС Министерства сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь (протокол № 09-1-6/8 от 16.12.2019 г.), Минск. – 2021. – 122 с.

Summary. The use of a fogging system without a ventilation system is not allowed. The use of fogging systems must be carried out under the control of automatic means working with the TНІ index to achieve a certain humidity level.

УДК 620.186.5

Акулович Л.М., доктор технических наук, профессор;

Карпач В.Ю., Волков Е.Д., студенты

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

МИКРОТВЕРДОСТЬ ПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЕВ ПОСЛЕ МАГНИТНО-ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО УПРОЧНЕНИЯ И ЛАЗЕРНОЙ ОБРАБОТКИ

Аннотация. Представлены результаты исследований микротвердости и показателей качества поверхностных слоев, полученных способами магнитно-электрического упрочнения с последующей лазерной термообработкой.

Abstract. Presented the results of microhardness studies and quality indicators of surface layers obtained by means of magnetic-electric hardening with subsequent laser heat treatment.

Ключевые слова: магнитно-электрического упрочнения, технологическая схема, лазерная термообработка, микротрещины, шероховатость.

Key words: magnetic-electric hardening, process flow chart, laser heat treatment, microcracks, roughness.

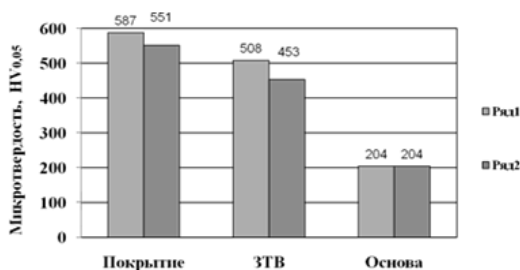
Известно, что процессу магнитно-электрического упрочнения (МЭУ) наряду с достоинствами [1, 2] присущи и недостатки [2, 3] (разнотолщинность и пористость покрытий, присутствие в них микротрещин, неудовлетворительная шероховатость упрочненной поверхности), ограничивающие область его применения. Для устранения указанных дефектов проведены исследования возможности обработки металлических поверхностей последовательным проведением МЭУ и поверхностного пластического деформирования (ППД), совмещенных в одной технологической схеме, и последующей лазерной термообработки.

Цель исследований – выполнить сравнительный анализ параметров качества и микротвердости поверхностных слоев, полученных различными способами магнитно-электрического упрочнения с последующей лазерной термообработкой.

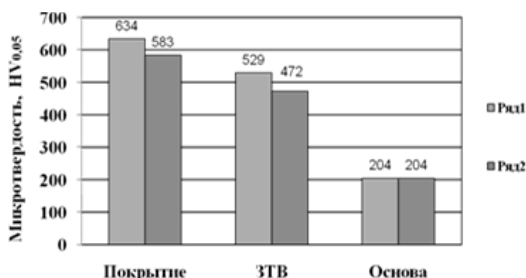
Исследования проводились на цилиндрических образцах из стали 45 с покрытиями из ферромагнитных порошков (ФМП) Fe-5%V (ГОСТ 9849-86) и ФБХ-6-2 (ГОСТ 11546-75), полученными МЭУ с лазерной термообработкой, а также МЭУ и ППД с лазерной термообработкой. Обработка поверхностей выполнялась на оптимальных режимах [1, 2]: МЭУ – на установке модели УМЭУ-1; ППД – накатным устройством с роликовым электродом-инструментом; лазерная – CO₂-лазером модели «Комета-2» мощностью 1 кВт. Толщина упрочненных поверхностных слоев определялась по распределению микротвердости на приборе ПМТ-3М в поперечном сечении образцов при помощи окулярной вставки с увеличением в 200 раз; разнотолщинность – по разности максимальной и минимальной местных толщин покрытий образца; объемная пористость покрытий – методом гидростатического взвешивания. Измерение достигаемой шероховатости поверхности производилось на профилографе-профилометре Mitutoyo SJ-201P.

Обсуждение результатов. В результате выполненных исследований установлено, что наибольшее значение средней микротвердости (рисунок 1, а и б) наблюдается у покрытий из ФМП ФБХ-6-2, полученных МЭУ и ППД, и составляет 634 HV_{0,05}, что на 8% больше микротвердости покрытий, полученных МЭУ (587 HV_{0,05}), и в 2,9 раза больше по сравнению с материалом основы. Это обусловлено формированием мелкодисперсной структуры слоев в результате их скоростного охлаждения и последующего пластического деформирования. Следует также отметить, что после лазерной термообработки покрытий из ФМП ФБХ-6-2, полученных МЭУ, а также МЭУ и ППД, средняя микротвердость уменьшилась в среднем в 1,2 раза и составляет 508 и 520 HV_{0,05} соответственно. При этом снижение микротвердости возможно по причине перераспределения внутренних напряжений на границе раздела «покрытие-основа» в результате термического и силового воздействия.

Результаты исследований (таблица) показывают, что ППД и последующая лазерная термообработка нанесенных покрытий МЭУ при уменьшении средней их толщины до 5%, позволяет повысить качество упрочненных поверхностей за счет снижения их объемной пористости в 1,5 – 1,7 раза, средней шероховатости по параметру Ra до 18% и средней разнотолщинности до 1,2 раза.



a



б

Ряд: 1 – ФБХ-6-2; 2 – Fe-5%V; ЗТВ-зона термического влияния
Рисунок 1 – Диаграмма результатов исследований микротвердости упрочненных поверхностей МЭУ с лазерной термообработкой (а), МЭУ и ППД с лазерной термообработкой (б)

Таблица – Показатели качества упрочненных поверхностей, полученных различными способами МЭУ с последующей лазерной термообработкой

Материал ФМП	Средняя толщина покрытий, мкм	Средняя разнотолщинность покрытий, мкм	Объемная пористость покрытий, %	Средняя шероховатость поверхности, мкм
Магнитно-электрическое упрочнение и лазерная термообработка				
Fe-5%V	235	49	1,4	6,9
ФБХ-6-2	244	42	1,9	7,8
Магнитно-электрическое упрочнение, ППД и лазерная термообработка				
Fe-5%V	223	43	0,9	6,0
ФБХ-6-2	238	36	1,1	6,6

Выводы. Экспериментальными исследованиями установлено:

1. Лазерная термообработка покрытий, полученных МЭУ, а также МЭУ и ППД, обеспечивает снижение микротвердости поверхностного слоя примерно на 20%;

2. ППД и последующая лазерная термообработка нанесенных покрытий МЭУ позволяет уменьшить среднюю их толщину до 5%, снизить их объемную пористость в 1,5 – 1,7 раза, среднюю шероховатость по параметру Ra до 18% и среднюю разнотолщинность до 1,2 раза.

Список использованной литературы

1. Акулович, Л. М. Термомеханическое упрочнение деталей в электромагнитном поле / Л. М. Акулович. – Полоцк : ПГУ, 1999. – 240 с.
2. Акулович, Л. М. Магнитно-электрическое упрочнение поверхностей деталей сельскохозяйственной техники / Л. М. Акулович, А. В. Миранович. – Минск : БГАТУ, 2016. – 236 с.
3. Девойно, О. Г. Модифицирование поверхности покрытий с использованием лазерного нагрева / О. Г. Девойно, А. С. Калиниченко, М. А. Кардаполова. – Минск : БНТУ, 2013. – 228 с.

Summary. Laser heat treatment of coatings obtained by magnetic-electric hardening, as well as magnetic-electric hardening and surface plastic deformation, ensures a reduction in the microhardness of the surface layer by approximately 20%; surface plastic deformation and subsequent laser heat treatment of the applied coatings by magnetic-electric hardening allows to reduce their average thickness to 5%, reduce their volume porosity by 1.5 - 1.7 times, average roughness by the parameter Ra to 18% and average thickness variation to 1.2 times.

УДК 621.91:67.05

Акулович Л.М., доктор технических наук, профессор;
Стрига М.В., студент

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

МЕТОДЫ АППРОКСИМАЦИИ ТРАЕКТОРИИ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ИНСТРУМЕНТА НА СТАНКАХ С ЧПУ

Аннотация. Рассматриваются методы аппроксимации заданной траектории перемещения инструмента элементарными перемещениями вдоль координатных осей X и Z для токарных станков с ЧПУ. Показаны примеры траекторий движения вершины инструмента при обработке конических и сферических поверхностей.

Abstract. Methods for approximating a given tool path by elementary displacements along the X and Z coordinate axes for CNC lathes are considered. Examples of tool tip movement trajectories for processing conical and spherical surfaces are shown.

Ключевые слова: аппроксимация, элементарное перемещение, режущий инструмент, опорные точки, система ЧПУ.