

DOI: 10.24412/2077-8481-2025-4-35-42

УДК 621.787

Д. М. СВИРЕПА, канд. техн. наук, доц.

Н. Д. СВИРЕПА

Белорусско-Российский университет (Могилев, Беларусь)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЛИЯНИЯ МАГНИТНО-ДИНАМИЧЕСКОГО НАКАТЫВАНИЯ НА ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИН ПРИ ФОРМИРОВАНИИ АНТИФРИКЦИОННЫХ ПОКРЫТИЙ

Аннотация

Проведены исследования по определению влияния магнитно-динамического накатывания на эксплуатационные характеристики поверхностного слоя при формировании антифрикционных покрытий.

Ключевые слова:

магнитно-динамическое накатывание, исследование износостойкости, уровень звукового давления, упрочнение, активная технологическая среда.

Для цитирования:

Свирепа, Д. М. Определение влияния магнитно-динамического накатывания на эксплуатационные характеристики поверхностного слоя деталей машин при формировании антифрикционных покрытий / Д. М. Свирепа, Н. Д. Свирепа // Вестник Белорусско-Российского университета. – 2025. – № 4 (89). – С. 35–42.

Введение

При эксплуатации технологического оборудования могут возникать его отказы, что часто связано с износом ответственных поверхностей входящих в него деталей. Для обеспечения роста производительности труда увеличивают режимы работы оборудования, а следовательно, и силовое воздействие на технические устройства, что ведет к повышенному износу ответственных деталей. В связи с чем повышаются требования к эксплуатационным характеристикам поверхностей деталей машин. Увеличение износостойкости деталей пар трения можно обеспечить за счет использования для их изготовления дорогостоящих материалов, имеющих высокие триботехнические свойства (высоколегированные стали, цветные сплавы, бронзы и т. д.), применения специальных дорогостоящих смазок, повышающих триботехнические свойства контактирующих поверхностей, а также повышения

качественных характеристик поверхностей, формируемых на финишных операциях технологического процесса.

Из анализа литературных источников известно, что при эксплуатации узлов трения в работе непосредственно принимают участие тонкие поверхностные и приповерхностные слои материала толщиной до 5...10 мкм. В связи с этим в промышленности все чаще отказываются от изготовления изделий, выполненных полностью из дорогостоящих материалов (высоколегированные стали, цветные сплавы, бронзы и т. д.), а заданные триботехнические свойства обеспечивают технологическими методами – модификацией поверхностного слоя деталей с формированием антифрикционных покрытий, при этом сами изделия изготавливают из менее дорогостоящих материалов, например, конструкционных сталей.

Традиционные методы модификации поверхностного слоя (механические, термические, химико-термические, ион-

ная имплантация и др.) являются энергозатратными, реализуются на сложном технологическом оборудовании, не всегда обеспечивают необходимую износостойкость пар трения и, как правило, оказывают вредное влияние на окружающую среду, характеризуются значительным временем воздействия и имеют высокую себестоимость. Кроме того, они зачастую не предусматривают его упрочнение и формирование на поверхности деталей благоприятного микрорельефа.

В связи с этим является актуальной разработка инновационных технологий поверхностной модификации материалов с формированием антифрикционных покрытий.

Предложена перспективная технология магнитно-динамического накатывания с формированием антифрикционных покрытий, основанная на модификации поверхности слоя деталей машин магнитно-динамическим накатыванием и химически активными компонентами [1–7]. Данная технология планируется для внедрения на промышленных предприятиях, для чего необходимо владеть информацией о ее эксплуатационных характеристиках. Вызывает интерес исследование износостойкости поверхности деталей, упрочненных магнитно-динамическим накатыванием, при формировании антифрикционного покрытия на основе мелкодисперсного порошка меди. Также к эксплуатационным характеристикам можно отнести шумовые характеристики процесса модификации.

Исследование износостойкости поверхности, упрочненной магнитно-динамическим накатыванием, при формировании антифрикционных покрытий

Для проведения исследования спроектировано и изготовлено специальное устройство для силового нагружения изнашиваемых образцов [8].

Для проведения исследований по определению износостойкости поверхностного слоя деталей, рабочей поверхностью которых является внутренняя цилиндрическая поверхность втулок, разработано и изготовлено специальное устройство для силового нагружения изнашиваемых образцов (рис. 1), содержащее корпус 1, шток 2, гайку специальную 3, пружину силовую 4, кронштейн 5, индикатор 6, ось 7 и переходник для крепления образцов 8.

Экспериментальные исследования производились на токарно-винторезном станке 16Д25. Корпус 1 специального устройства для силового нагружения изнашиваемых образцов закрепляли в резцедержателе 10 станка. Чугунный притир 9 закрепляли в трехкулачковом патроне токарно-винторезного станка и поджимали задним центром станка. Испытываемые образцы 11 устанавливали в переходник для крепления образцов 8 с возможностью самоустановки. Внутренняя поверхность изнашиваемых образцов 11 входит в контакт с рабочей поверхностью притира 9 посредством радиального перемещения резцедержателя 10. Поворотом гайки 3 обеспечивали сжатие пружины 4 на требуемую величину и нагружение изнашиваемого образца 11 постоянной силой 50 Н к притику 9. Силу прижатия P изнашиваемого образца 11 находили с помощью индикатора 8, определяющего величину сжатия силовой пружины 4. Предварительно проводилась тарировка устройства.

Экспериментальные исследования проводились на токарно-винторезном станке 16Д25. Был изготовлен специальный чугунный притир, который устанавливался в патроне и поджимался задним центром станка. Характеристика притира: материал СЧ20 (180...190 НВ), размеры ($D \times l$): 110,5 × 100 мм, шероховатость поверхности Ra 0,8 мкм. Специальное приспособление для силового нагружения изнашиваемых образцов устанавливалось в резцедержателе станка.

Сила прижатия образцов, изготовленных из материала сталь 20ХГ (180...200 НВ), составляла $P = 50$ Н, частота вращения притира 40 мин⁻¹. Размеры деталей, упроч- ненных магнитно-динамическим накатыванием, с нанесенным антифрикционным покрытием составили ($D \times d \times l$): 140 × 110,5 × 15 мм.

ненных магнитно-динамическим накатыванием, с нанесенным антифрикционным покрытием составили ($D \times d \times l$): 140 × 110,5 × 15 мм.

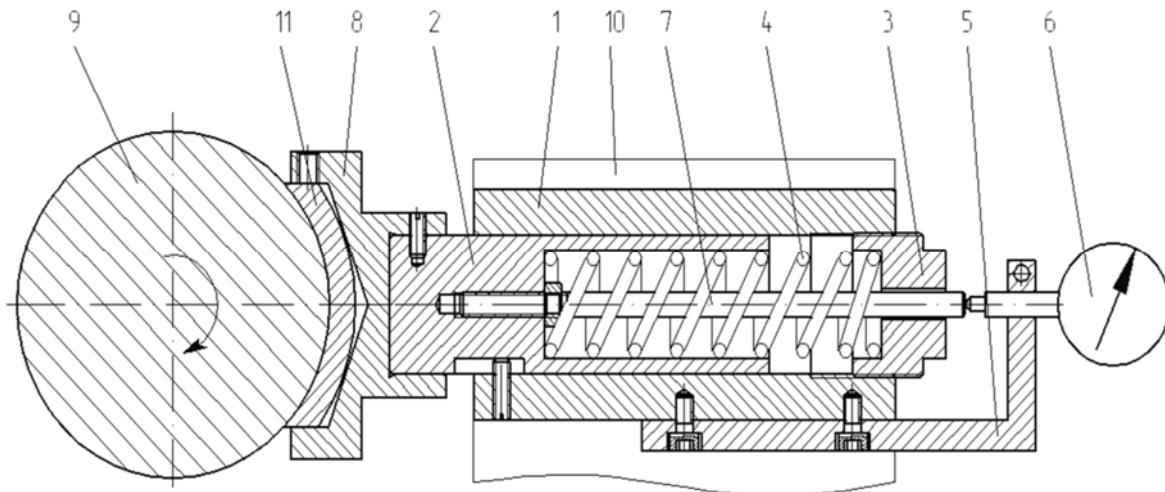


Рис. 1. Схема устройства для силового нагружения изнашиваемых образцов

Шероховатость поверхности деталей для проведения эксперимента после магнитно-динамического накатывания с формированием антифрикционного покрытия составила Ra 0,54...0,62 мкм. В качестве основного компонента специальной технологической среды, определяющего материал рабочей поверхности заготовок, использовались ультра- и мелкодисперсные порошки меди. Состав: Cu – 60 %, глицерин – 20 %, C_2H_5OH – 20 %. Также были подготовлены образцы аналогичного размера и из того же материала 20ХГ (180...200 НВ), подвергнутые тонкому растачиванию, алмазному выглаживанию и магнитно-динамическому накатыванию.

На внутренней поверхности образцов, подготовленных для эксперимента, по длине окружности нанесли углубление клиновидной формы глубиной 0,1 мм подпружиненным инструментом – резцом. Таким образом, была создана искусственная база для определения величины износа.

Величину износа испытуемых образцов определяли с помощью профилометра Mitutoyo Surftest SJ-210 по уменьшению глубины риски, на основе получаемой профилограммы. Измерения испытуемых образцов проводили через 30 мин после процедуры их изнашивания (за величину износа принимали среднее арифметическое значение пяти измерений).

Исследование износостойкости образцов из стали 20ХГ (180...200 НВ) показало, что износ поверхности после преодоления общего пути трения в 1000 м составил: 9,5 мкм (износ образцов после растачивания); 6 мкм (износ образцов после алмазного выглаживания); 3,4 мкм (износ образцов после магнитно-динамического накатывания в активной технологической среде) [9] (рис. 2).

Таким образом, сравнительные испытания показали, что упрочнение поверхности детали из стали 20ХГ (180...200 НВ) алмазным выглаживанием по сравнению с растачиванием поверх-

ности обеспечивает повышение стойкости образца в 1,58 раза (на 58 %), магнитно-динамическим накатыванием в 2,33 раза (на 133 %), магнитно-динамическим упрочнением в активной технологической среде – в 2,79 раза (на 179 %). Магнитно-динамическое накатывание по сравнению с алмазным выглаживанием обеспечивает повышение износостойкости поверхности в 1,47 раза (на 47 %), магнитно-динамическое накатывание в активной техно-

логической среде по сравнению с алмазным выглаживанием обеспечивает повышение износостойкости поверхности в 1,76 раза (на 76 %). Магнитно-динамическое накатывание в активной технологической среде по сравнению с обычным магнитно-динамическим накатыванием обеспечивает повышение стойкости образца в 1,2 раза (на 20 %), что связано с формированием упрочненного медного слоя на поверхности заготовки.

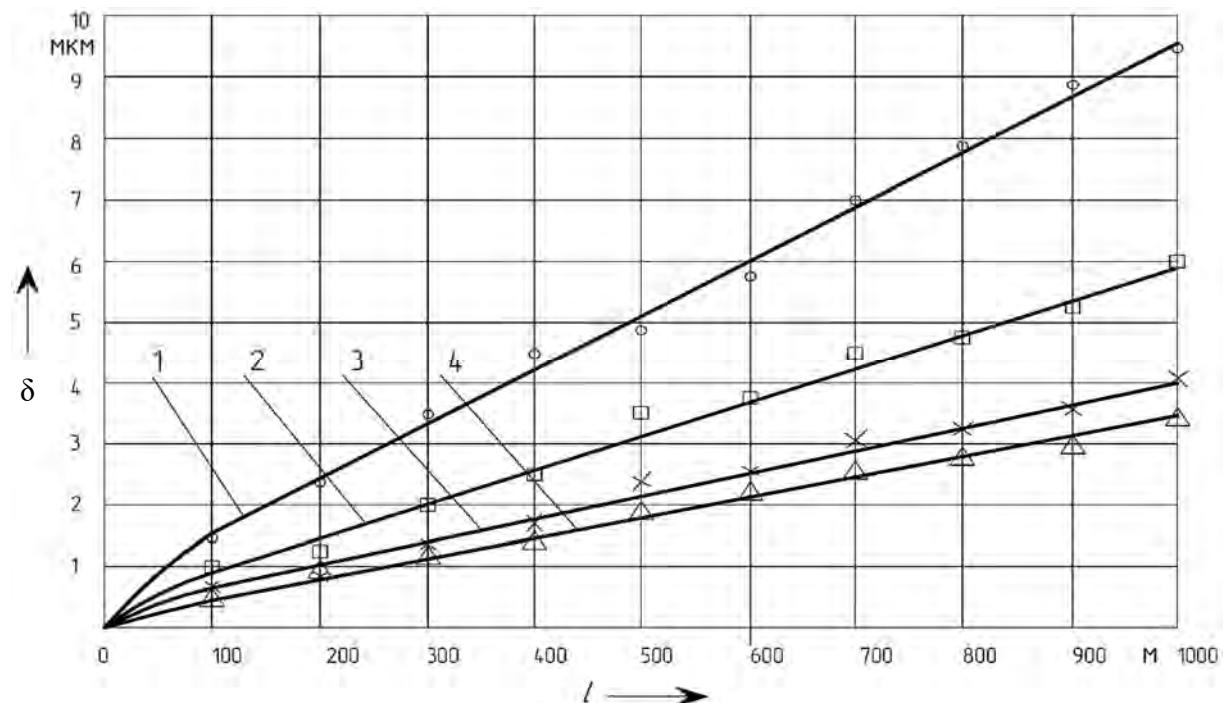


Рис. 2. Зависимость линейного износа от пути трения: 1 – износ образцов после растачивания; 2 – износ образцов после алмазного выглаживания; 3 – износ образцов после магнитно-динамического накатывания; 4 – износ образцов после магнитно-динамического накатывания в активной технологической среде

Исследование шумовых характеристик процесса магнитно-динамического накатывания при формировании антифрикционных покрытий

В процессе магнитно-динамического накатывания деформирующие шары, входящие в состав инструмента, вследствие периодического воздействия на них магнитной силы, направленной к

магнитной системе, разгоняющей их, и центробежной силы, действующей в противоположном направлении, наносят удары по поверхности модифицируемой заготовки, дисков и зубчатого магнитопровода, что приводит к возникновению шума [10].

Длительное воздействие высокого уровня шума может оказывать негативное влияние на здоровье человека, поэтому необходимо владеть информацией

о шумовых характеристиках процесса магнитно-динамического накатывания при формировании антифрикционных покрытий.

Шумовые характеристики инструмента для магнитно-динамического накатывания исследовались в лабораторных условиях с использованием прибора для измерения шума и вибраций Ассистент БВЕК.438150-005.

При проведении эксперимента по определению октавных уровней звукового давления проводился сравнительный анализ:

– процесса магнитно-динамического накатывания (режимы обработки: частота вращения инструмента 4000 мин^{-1} , подача 20 мм/мин);

– процесса магнитно-динамического накатывания в активной технологической среде (режимы обработки: частота вращения инструмента 2700 мин^{-1} , подача 20 мм/мин);

– процесса торцового фрезерования (режимы обработки: частота вращения инструмента 2240 мин^{-1} , подача 20 мм/мин);

– норм СанПиН *Шум на рабочих*

местах от 16 ноября 2011 г. № 115;

– норм уровня звукового давления для станков ОСТ 2Н89-40-75.

Эксперимент проводился на станке HAAS Super Mini Mill при отсутствии посторонних шумов.

Уровень звукового давления и уровень звука исследуемых процессов зависит от конструктивных и технологических особенностей станка, на котором производится обработка, особенностей инструмента, технологической оснастки и технологической среды.

Исследование октавных уровней звукового давления (рис. 3) показало соответствие магнитно-динамического накатывания в активной технологической среде нормам СанПиН от 16.11.2011 № 115 и находится в диапазоне от 64 до 74 дБА в отличие от магнитно-динамического накатывания, диапазон которого варьирует от 50 до 79 дБА и на октавах в 2000, 4000 и 8000 Гц не соответствует нормам СанПиН, что, соответственно, требует использования средств индивидуальной защиты, снижающих уровень звукового давления на величину до 10 дБА.

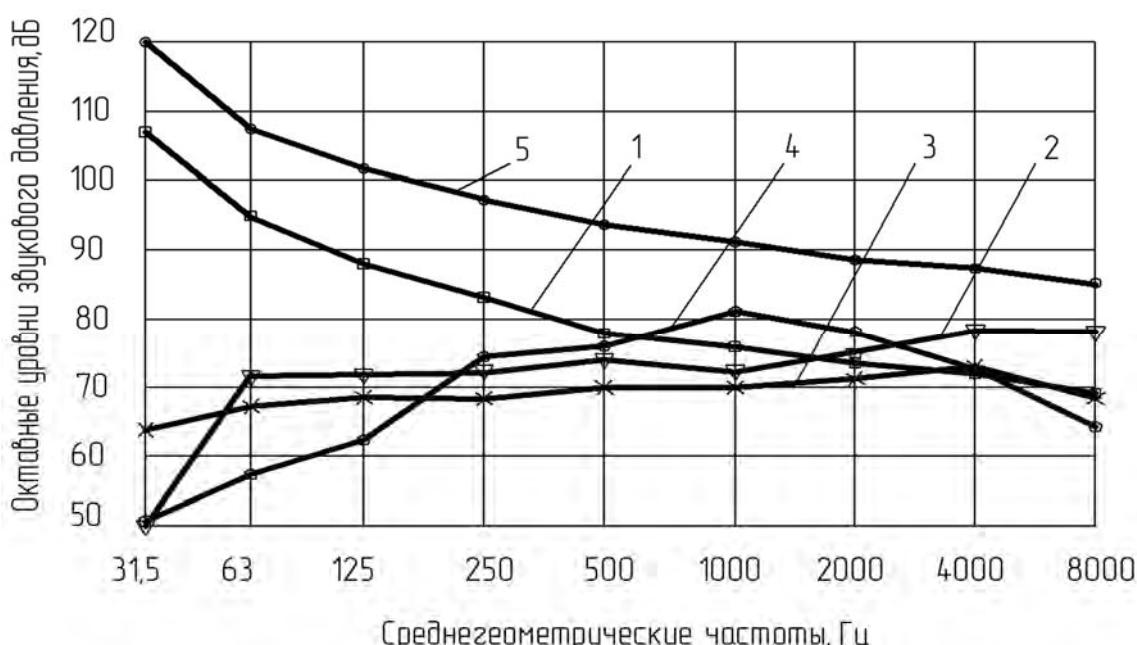


Рис. 3. Октавные уровни звукового давления: 1 – СанПиН от 16.11.2011 № 115; 2 – магнитно-динамическое накатывание; 3 – магнитно-динамическое накатывание в активной технологической среде; 4 – торцовое фрезерование; 5 – уровень звукового давления для станков ОСТ 2Н89-40-75

Результаты исследования уровня звука (рис. 4) на частотах вращения инструмента от 1000 до 3000 мин⁻¹ также показали соответствие процесса магнитно-динамического накатывания в активной технологической среде нормам СанПиН и отсутствие необходимости использования средств индивидуальной защиты (СИЗ), в то время как уровень звука при магнитно-динамическом накатывании превышает нормы СанПиН

на 3 дБА и требует использования СИЗ в виде берушей или наушников с соответствующими характеристиками. При этом оба процесса значительно уступают шуму, создаваемому при торцовом фрезеровании. Стоит отметить снижение уровня звука при использовании активной технологической среды при магнитно-динамическом накатывании в среднем на 5 дБА.

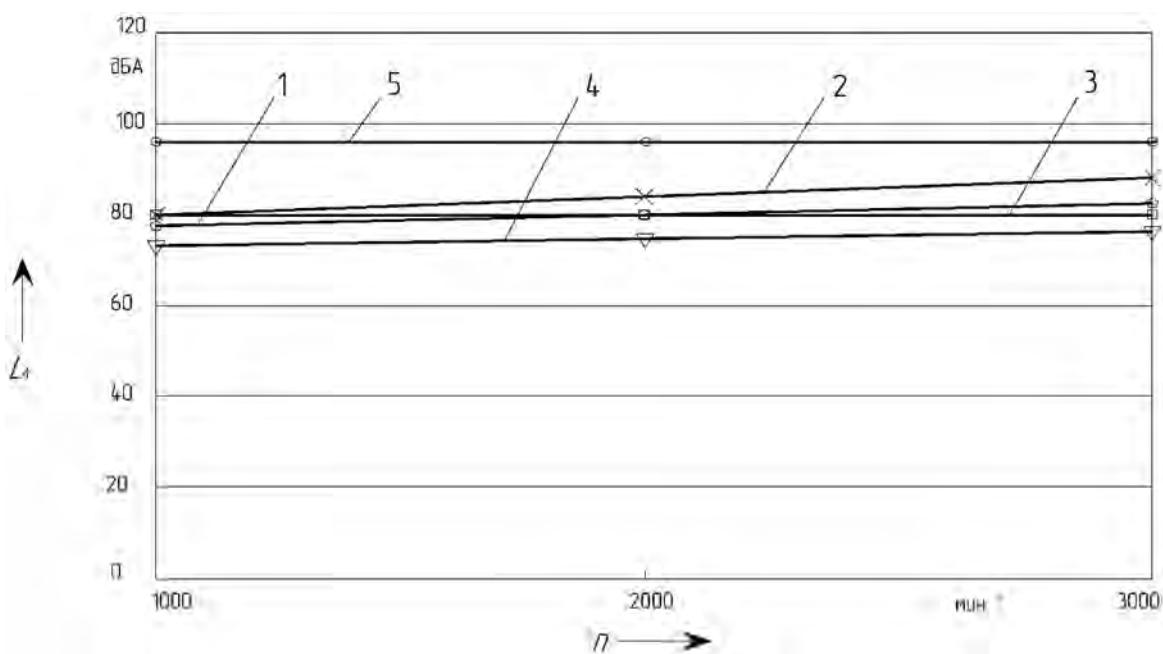


Рис. 4. Уровень звука: 1 – магнитно-динамическое накатывание; 2 – торцовое фрезерование; 3 – СанПиН от 16.11.2011 № 115; 4 – магнитно-динамическое накатывание в активной технологической среде; 5 – уровень звукового давления для станков ОСТ 2H89-40-75

Выводы

Проведенные исследования износостойкости поверхности, упрочненной магнитно-динамическим накатыванием, при формировании антифрикционного покрытия из меди показали повышение стойкости в 2,79 раза (на 179 %) по сравнению с расточенной поверхностью, в 1,76 раза (на 76 %) по сравнению с алмазным выглаживанием и в 1,2 раза (на 20 %) по сравнению с магнитно-динамическим накатыванием, что связано с формированием упрочненного медного слоя на поверхности заготовки.

Исследование октавных уровней звукового давления показало соответствие магнитно-динамического накатывания в активной технологической среде нормам СанПиН от 16.11.2011 № 115 и находится в диапазоне от 64 до 74 дБА. Результаты исследования уровня звука на частотах вращения инструмента от 1000 до 3000 мин⁻¹ также показали соответствие процесса магнитно-динамического накатывания в активной технологической среде нормам СанПиН и отсутствие необходимости использования средств индивидуальной защиты.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Довгалев, А. М.** Математическое моделирование процесса СМДН в активной технологической среде / А. М. Довгалев, Д. М. Свирепа // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: материалы Междунар. науч.-техн. конф. / М-во образования Респ. Беларусь, М-во науки и высшего образования Рос. Федерации, Бел.-Рос. ун-т ; редкол. : М. Е. Лустенков (гл. ред.) [и др.]. – Могилев : Бел.-Рос. ун-т, 2022. – С. 52.
2. **Свирепа, Д. М.** Формирование антифрикционных покрытий магнитно-динамическим накатыванием / Д. М. Свирепа, А. М. Довгалев // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: материалы Междунар. науч.-техн. конф. / М-во образования Респ. Беларусь, М-во науки и высшего образования Рос. Федерации, Бел.-Рос. ун-т ; редкол. : М. Е. Лустенков (гл. ред.) [и др.]. – Могилев : Бел.-Рос. ун-т, 2022. – С. 70.
3. **Свирепа, Д. М.** Конструкция магнитно-динамического накатника для модифицирования поверхностного слоя деталей машин / Д. М. Свирепа // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: материалы Междунар. науч.-техн. конф. / М-во образования Респ. Беларусь, М-во науки и высшего образования Рос. Федерации, Бел.-Рос. ун-т ; редкол. : М. Е. Лустенков (гл. ред.) [и др.]. – Могилев : Бел.-Рос. ун-т, 2022. – С. 68.
4. **Свирепа, Д. М.** Усовершенствование технологий получения антифрикционных металлических покрытий методом СМДН / Д. М. Свирепа, А. М. Довгалев // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: материалы Междунар. науч.-техн. конф. / М-во образования Респ. Беларусь, М-во науки и высшего образования Рос. Федерации, Бел.-Рос. ун-т ; редкол. : М. Е. Лустенков (гл. ред.) [и др.]. – Могилев : Бел.-Рос. ун-т, 2023. – С. 63.
5. **Довгалев, А. М.** Упрочнение деталей совмещенным магнитно-динамическим накатыванием в специальной технологической среде / А. М. Довгалев, Д. М. Свирепа // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: материалы Междунар. науч.-техн. конф. / М-во образования Респ. Беларусь, М-во науки и высшего образования Рос. Федерации, Бел.-Рос. ун-т ; редкол. : М. Е. Лустенков (гл. ред.) [и др.]. – Могилев : Бел.-Рос. ун-т, 2024. – С. 41.
6. **Свирепа, Д. М.** Технология магнитно-динамического накатывания с формированием антифрикционных покрытий / Д. М. Свирепа // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии : материалы Междунар. науч.-техн. конф. – Могилев: Бел.-Рос. ун-т, 2024. – С. 61.
7. **Довгалев, А. М.** Повышение эксплуатационных свойств плоских поверхностей деталей магнитно-динамическим упрочнением / А. М. Довгалев, С. А. Сухоцкий // Вестник Белорусско-Российского университета. – 2016. – № 3 (52). – С. 19–27.
8. **Свирепа, Д. М.** Технологическое обеспечение качества внутренней цилиндрической поверхности деталей магнитно-динамическим раскатыванием : дис. канд. техн. наук : 05.02.08 / Свирепа Дмитрий Михайлович ; Бел.-Рос. ун-т. – Могилев, 2013. – 163 л.
9. **Свирепа, Д. М.** Исследование износстойкости поверхности, упрочненной магнитно-динамическим накатыванием, при формировании антифрикционных покрытий / Д. М. Свирепа, А. М. Довгалев, Н. Д. Свирепа // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии : материалы Междунар. науч.-техн. конф. – Могилев: Бел.-Рос. ун-т, 2025. – С. 66.
10. **Свирепа, Д. М.** Исследование шумовых характеристик процесса магнитно-динамического накатывания при формировании антифрикционных покрытий / Д. М. Свирепа, А. М. Довгалев, Н. Д. Свирепа // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии : материалы Междунар. науч.-техн. конф. – Могилев: Бел.-Рос. ун-т, 2025. – С. 67.

Статья сдана в редакцию 30 сентября 2025 года

Контакты:

svirepa.dmitry@gmail.com (Свирепа Дмитрий Михайлович);
svirepa.nikolai07@gmail.com (Свирепа Николай Дмитриевич).

D. M. SVIREPA, N. D. SVIREPA

DETERMINING THE EFFECT OF MAGNETODYNAMIC ROLLING ON PERFORMANCE CHARACTERISTICS OF MACHINE PARTS' SURFACE LAYER DURING ANTIFRICTION COATING FORMATION

Abstract

Research has been conducted to determine the effect of magnetodynamic rolling on the performance characteristics of the surface layer during the formation of antifriction coatings.

Keywords:

magnetodynamic rolling, wear resistance study, sound pressure level, hardening, active technological environment.

For citation:

Svirepa, D. M. Determining the effect of magnetodynamic rolling on performance characteristics of machine parts' surface layer during antifriction coating formation / D. M. Svirepa, N. D. Svirepa // Belarusian-Russian University Bulletin. – 2025. – № 4 (89). – P. 35–42.