

**ПОЛУЧЕНИЕ ПОВЕРХНОСТНЫХ НАНОСТРУКТУР
И АНТИФРИКЦИОННЫХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ
СОВМЕЩЕННЫМ МАГНИТНО-ДИНАМИЧЕСКИМ
НАКАТЫВАНИЕМ**

В.К. ШЕЛЕГ

*Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Республика Беларусь*

А.М. ДОВГАЛЕВ

Белорусско-Российский университет, г. Могилев, Республика Беларусь

Приведены сведения о методе совмещенного магнитно-динамического накатывания, обеспечивающего получение в поверхностном слое упрочняемых ферромагнитных деталей мелкозернистой структуры наноразмерного диапазона, формирование на поверхности деталей машин антифрикционных металлических покрытий, обладающих высокими эксплуатационными свойствами.

В машиностроении актуальной задачей является разработка методов наноструктурирования поверхностного слоя деталей машин, основанных на методах интенсивной пластической деформации, обеспечивающих повышение эксплуатационных свойств упрочненных поверхностей [1, 2].

К числу перспективных относится метод совмещенного магнитно-динамического накатывания (СМДН), согласно которому на поверхностный слой упрочняемой ферромагнитной детали одновременно воздействуют вращающимся магнитным полем (постоянным или переменным) и колеблющимися деформирующими шарами, свободно расположенными в кольцевой камере инструмента, осуществляющими импульсно-ударное деформирование. При этом процессы магнитной упрочняющей обработки и динамического поверхностного пластического деформирования совмещены во времени [3, 4].

Для реализации метода СМДН поверхностей ферромагнитных деталей разработан новый класс комбинированных инструментов (применительно для отделочно-упрочняющей обработки внутренних, наружных и плоских поверхностей), разработаны конструкции их магнитных систем на основе использования существующих конфигураций постоянных магнитов [3–5].

Выполнены исследования характеристик магнитной системы комбинированного инструмента для совмещенного магнитно-динамического накатывания поверхности отверстия ферромагнитной детали.

Установлены зависимости влияния режимов процесса СМДН на шероховатость упрочняемой поверхности.

Выполнены статистические исследования точности получения диаметрального размера и геометрической формы поперечного сечения тонкостенных стальных цилиндров при упрочнении СМДН.

Проведены рентгеноструктурные исследования, исследования микро-структуры и рентгеноспектральный микроанализ упрочненного поверхностного слоя стальных и чугунных образцов. Рентгеноструктурные исследования поверхностного слоя упрочненных образцов выполняли на автоматизированном рентгеновском комплексе на базе дифрактометра ДРОН–3М. Исследование микроструктуры и рентгеноспектральный микроанализ поверхностного слоя образцов, упрочненных СМДН, проводили на сканирующем электронном микроскопе высокого разрешения «MIRA» фирмы «Tescan» (Чехия) с рентгеноспектральным микроанализатором EDX «INCA 350–Max» фирмы «Oxford Analytical Instrument» (Великобритания).

Установлено, что метод СМДН обеспечивает в упрочненном поверхностном слое ферромагнитной детали увеличение плотности дислокаций и периода кристаллической решетки, создание в поверхностном слое остаточных напряжений сжатия от минус 846 до минус 1162 МПа; формирование наноразмерной субзеренной структуры на глубину до 13 мкм с размерами блоков 15–100 нм. Рентгеноспектральный микроанализ показал, что СМДН приводит к некоторому увеличению концентрации углерода в наноструктурированном поверхностном слое как стальных, так и чугунных деталей, что может быть обусловлено высвобождением атомов углерода вследствие дробления зерен под комплексным магнитно-силовым воздействием и диффундированием атомов углерода из нижних слоев на поверхность детали [5].

Установлено, что СМДН обеспечивает увеличение глубины модифицированного поверхностного слоя стальных и чугунных деталей (по отношению к магнитно-динамическому накатыванию, когда магнитное упрочняющее воздействие на поверхность ферромагнитной детали отсутствует) в 1,6 и 2,7 раза соответственно.

Разработан метод получения на поверхности ферромагнитных деталей машин антифрикционных металлических покрытий, при котором совмещенное магнитно-динамическое накатывание осуществляют в специальной технологической среде, состоящей из соединений мягких металлов или микро- и ультрадисперсных порошков, а также веществ, восстанавливающих металлы из имеющихся соединений и активизирующих процесс растворения присутствующих окислов [6].

Установлено, что метод СМДН в специальной технологической среде позволяет получить на поверхности стальных деталей модифицированный поверхностный слой на глубину до 13,5 мкм, состоящий из антифрикционного металлического покрытия толщиной 1,7–3,6 мкм (состав которого зависит от компонентов технологической среды) и мелкодисперсного субзеренного слоя высотой 3,0–4,5 мкм с размерами субзерен до 100 нм и субзеренного слоя с размерами блоков более 100 нм, расположенного в основном материале детали.

Триботехнические исследования позволили установить, что метод СМДН обеспечивает снижение коэффициента трения скольжения поверхно-

сти упрочненных стальных образцов в 1,4–1,5 раза и повышение ее износостойкости (по отношению к поверхности, обработанной шлифованием) в 3,8–4,9 раза [7].

ЛИТЕРАТУРА

1. Григорьев, С. Н. Технологии нанобработки: учебное пособие / С. Н. Григорьев, А. А. Грибков, С. В. Алешин. – Старый Оскол : ТНТ, 2011. – 320 с.
2. Блюменштейн, В. Ю. Инновационные технологии отделочно-упрочняющей обработки поверхностным пластическим деформированием в транспортном комплексе // В. Ю. Блюменштейн // Научные технологии в машиностроении. – 2019. – № 8. – С. 16–24.
3. Способ поверхностного пластического деформирования и инструмент для его осуществления : пат. РФ 2068770 / А. М. Довгалев (РБ). – Оpubл. 10.11.96.
4. Способ поверхностного пластического деформирования и инструмент для его осуществления : пат. РФ 2089373 / А. М. Довгалев (РБ). – Оpubл. 10.03.97.
5. Довгалев, А. М. Повышение эффективности упрочнения поверхностей ферромагнитных деталей совмещенным магнитно-динамическим накатыванием / А. М. Довгалев // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). – 2018. – Т. 20, № 3. – С. 18–35.
6. Способ и устройство для отделочно-упрочняющей обработки внутренней поверхности отверстия в ферромагнитной детали : пат. ВУ 22193 / В. К. Шелег, А. М. Довгалев, А. А. Жолобов, Д. М. Свирепа, С. А. Сухоцкий, М. В. Мовчан. – Оpubл. 30.08.2020.
7. Шелег, В. К. Исследование триботехнических свойств поверхностей деталей, упрочненных совмещенным магнитно-динамическим накатыванием / В. К. Шелег, А. М. Довгалев // Актуальные вопросы машиноведения. – 2021. – Вып.10. – С. 15–21.