

УДК 621.787

НАНОСТРУКТУРИРОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИН СОВМЕЩЕННОЙ МАГНИТНО-ДИНАМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКОЙ

В. К. ШЕЛЕГ¹, А. М. ДОВГАЛЕВ²

¹Белорусский национальный технический университет

Минск, Беларусь

²Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Мировой и отечественный опыт свидетельствует о том, что большинство современных машин выходят из строя по причине износа поверхностей их ответственных деталей. В развитых странах потеря средств, ежегодно направляемых на борьбу с износом и восстановлением работоспособности машин различного технологического назначения, составляет порядка 4 %...5 % национального дохода. В связи с этим повышение долговечности машин на основе повышения износостойкости поверхностей входящих в них ответственных деталей является важной народно-хозяйственной проблемой.

Как показывает анализ литературных источников, для повышения износостойкости поверхностей деталей машин создано достаточно большое количество динамических методов отделочно-упрочняющей обработки (вибро-накатывание, обработка дробью, центробежно-ударная, пневмоцентробежная, пневмовибродинамическая обработки и др.), осуществляемых на финишных операциях технологического процесса, каждый из которых имеет свои особенности и область технологического применения.

Вместе с тем известные динамические методы отделочно-упрочняющей обработки не предусматривают комплексного энергетического воздействия на упрочняемую поверхность с целью получения поверхностных наноструктур, определяющих существенное повышение износостойкости поверхностей деталей машин [1].

В связи с этим предложено детали пар трения изготавливать из обычных конструкционных углеродистых сталей, а повышение их производственного ресурса обеспечить на основе формирования упрочненного поверхностного слоя с мелкодисперсной субзеренной структурой наноразмерного диапазона методом совмещенной магнитно-динамической обработки вращающимся магнитным полем и импульсно-ударным деформированием (методом СМДО), обеспечивающим комплексное магнитно-силовое воздействие на поверхность ферромагнитной детали.

Для реализации методов СМДО создан принципиально новый класс комбинированных инструментов применительно к отделочно-упрочняющей обработке внутренних, наружных и плоских поверхностей ферромагнитных деталей, разработаны конструкции их магнитных систем на основе применения существующих конфигураций постоянных магнитов, в том числе из редкоземельных материалов Nd Fe В.

На рис. 1 изображен комбинированный инструмент для СМДО внутренней цилиндрической поверхности ферромагнитных деталей. В его состав входят следующие элементы: оправка 1; шайбы 2, 3; кольцевая камера 4; деформирующие шары 5; две независимые магнитные системы. Магнитная система, обеспечивающая упрочняющее воздействие на поверхностный слой ферромагнитной детали вращающимся магнитным полем, включает диски 6, 7 с аксиальными отверстиями 8, 9, цилиндрические постоянные магниты 10, 11 и магнитопроводы 12, 13 с цилиндрической или периодической наружной поверхностью. Магнитная система, предназначенная для сообщения радиальных колебательных движений деформирующим шарам 5, осуществляющим многократное импульсно-ударное деформирование элементарного участка упрочнений поверхности, содержит обоймы 14, 15 с аксиальными отверстиями 16, 17, цилиндрические постоянные магниты 18, 19, магнитопроводный диск 20 с периодической поверхностью 21 в виде синусоиды, выступов или зубьев. Оправка 1, шайбы 2, 3, диски 6, 7, обоймы 14, 15 изготовлены из немагнитопроводных материалов.

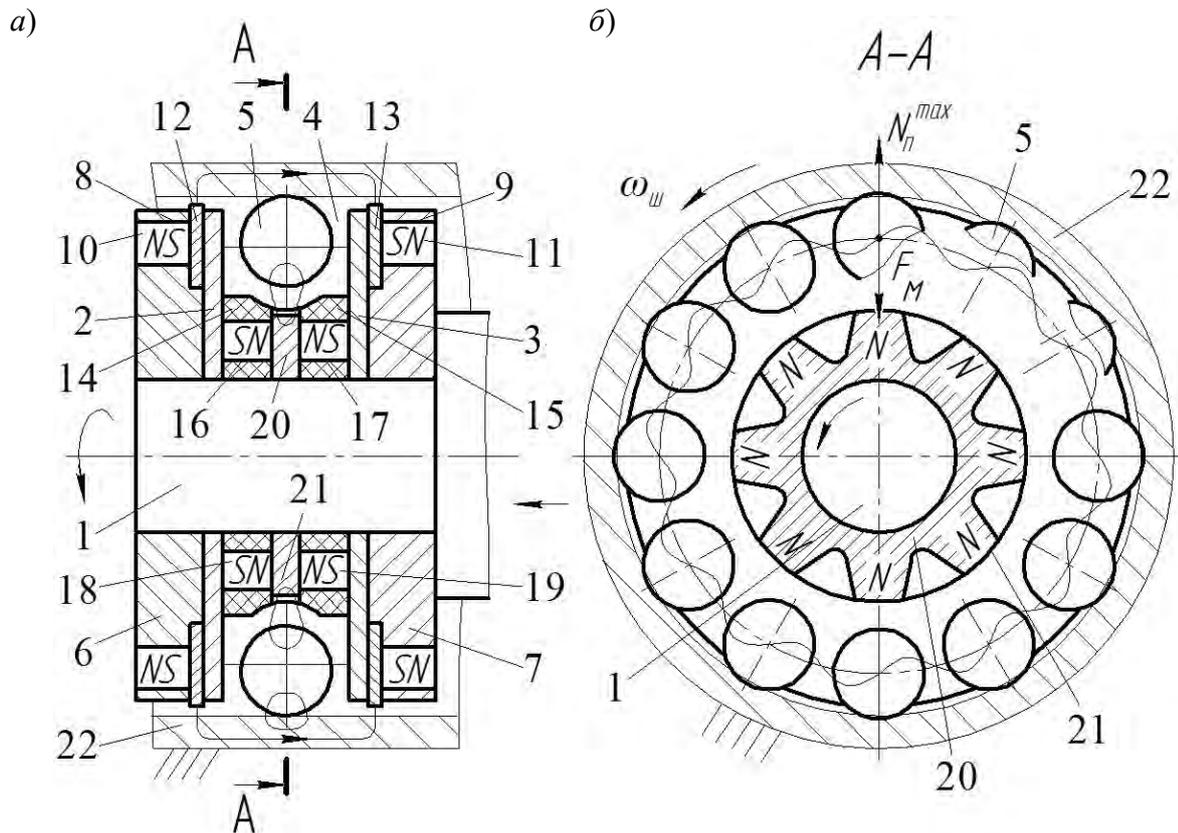


Рис. 1. Комбинированный инструмент для СМДО внутренней цилиндрической поверхности ферромагнитных деталей: *а* – общий вид; *б* – поперечное сечение

Установлено, что в процессе совмещенной магнитно-динамической обработки деформирующие шары 5 вращаются относительно продольной от упрочняемой цилиндрической поверхности детали 22 с угловой скоростью 140...430 рад/с, осуществляют радиальные колебания с частотой 230...850 Гц

и амплитудой 1...5 мм, динамически воздействуют на упрочняемую поверхность силой 10...50 Н.

С учетом технической новизны предложенного метода СМДО были проведены теоретические и экспериментальные исследования процесса совмещенной обработки.

Разработаны математические модели процесса СМДО внутренней и наружной цилиндрической поверхности ферромагнитных деталей. Получены дифференциальные уравнения, описывающие взаимосвязанные фазы движения деформирующих шаров в магнитном поле, позволившие установить закономерность движения деформирующих шаров, взаимосвязь их кинематических характеристик движения с конструктивными параметрами комбинированного инструмента и режимами процесса совмещенной обработки. Решение полученных дифференциальных уравнений движения деформирующих шаров в магнитном поле численными методами позволяет рассчитать требуемые параметры процесса совмещенной обработки для обеспечения заданных характеристик качества упрочняемых поверхностей ферромагнитных деталей.

Разработана динамическая модель комбинированного инструмента для СМДО поверхности отверстия ферромагнитной детали, позволяющая рассчитать величину жесткости магнитной связи деформирующего шара с магнитной системой инструмента при соответствующих параметрах процесса совмещенной обработки.

Разработана модель упругопластической деформации поверхности ферромагнитной детали гладким деформирующим шаром. Получены аналитические зависимости для расчета глубины внедрения деформирующего шара и глубины упрочненного поверхностного слоя, позволяющие прогнозировать параметры качества совмещенной обработки.

Разработана математическая модель процесса формирования шероховатости поверхности при совмещенной обработке. Получено уравнение взаимосвязи параметров качества обработки с параметрами инструмента, режимами процесса совмещенного упрочнения и характеристиками упрочняемой детали. Получена аналитическая зависимость для расчета величины шероховатости поверхности нежесткой ферромагнитной детали, упрочненной методом СМДО.

Получены аналитические зависимости для расчета количества деформирующих шаров, диаметра и числа зубьев магнитопровода комбинированного инструмента.

Разработаны алгоритм и программа для расчета режимов процесса СМДО на ЭВМ с использованием дифференциальных уравнений, описывающих кинематику движения деформирующих шаров в магнитном поле.

Осуществлена оптимизация процесса СМДО при упрочнении стальных деталей. Получена зависимость шероховатости поверхности цилиндрического отверстия от основных параметров процесса СМДО.

Выполнены исследования характеристик качества поверхностного слоя ферромагнитных деталей, упрочненных СМДО.

Проведены рентгеноструктурные исследования упрочненных стальных и чугуновых образцов. Установлено, что метод СМДО в упрочненном поверхностном слое детали обеспечивает: увеличение плотности дислокаций; увеличение значения периода кристаллической решетки; создание в поверхностном слое остаточных напряжений сжатия (сталь 45 – от минус 868 до 1162 МПа; серый чугун СЧ20 – от минус 846 до 942 МПа); формирование мелкодисперсной субзеренной структуры наноразмерного диапазона (сталь 45 – 20...25 нм; серый чугун СЧ20 – 18...20 нм) [2].

Выполнены исследования микроструктуры упрочненных образцов из стали и серого чугуна. Установлено, что метод СМДО обеспечивает: формирование мелкодисперсной субзеренной структуры наноразмерного диапазона (сталь 45 – 15...100 нм; серый чугун СЧ20 – 20...100 нм) на глубину 1,5...3,0 мкм (сталь 45) и 1,8...3,0 мкм (серый чугун СЧ20); увеличение глубины упрочненного слоя по отношению к импульсно-ударному деформированию, когда магнитное упрочняющее воздействие на поверхность ферромагнитной детали отсутствует, в 1,6–2,5 раза (сталь 45) и в 2,0–3,1 раза (серый чугун СЧ20) [2].

Предложен механизм формирования в поверхностном слое ферромагнитных деталей мелкодисперсной субзеренной структуры при упрочнении СМДО, учитывающий комплексное магнитно-силовое воздействие, многократное импульсно-ударное деформирование элементарного участка поверхностного слоя, вызывающее разрушение зерен и фрагментов зерен и их периодический поворот после очередного дробления на угол рассогласования векторов собственного и внешнего магнитных полей, позволяющий описать процесс получения наноструктурированного поверхностного слоя. Определена роль вращающегося магнитного поля и импульсно-ударного деформирования на процесс наноструктурирования поверхностного слоя ферромагнитных деталей.

Выполнены исследования триботехнических свойств поверхностей упрочненных ферромагнитных деталей. Установлено, что метод СМДО обеспечивает снижение коэффициента трения скольжения упрочненных поверхностей и повышение износостойкости ферромагнитных деталей в 2,3 раза (по отношению к поверхности, упрочненной импульсно-ударным деформированием).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Григорьев, С. Н.** Технологии нанообработки: учебное пособие / С. Н. Григорьев, А. А. Грибков, С. В. Алешин. – Старый Оскол : ТНТ, 2011. – 320 с.
2. **Шелег, В. К.** Получение поверхностных наноструктур и антифрикционных металлических покрытий совмещенным магнитно-динамическим накатыванием / В. К. Шелег, А. М. Довгалев // Инновационные технологии в машиностроении: сб. материалов Междунар. науч.-техн. конф., посвящ. 55-летию Полоцкого гос. ун-та имени Евфросинии Полоцкой, Новополоцк, 18–19 апр. 2023 г. – Новополоцк, 2023. – С. 150–152.