

МАШИНОСТРОЕНИЕ . МЕТАЛЛУРГИЯ

УДК 621:787

А. М. Довгалева, канд. техн. наук, доц., Д. М. Свирепа, Д. М. Рыжанков

КЛАССИФИКАЦИЯ ИНСТРУМЕНТОВ ДЛЯ МАГНИТНО-ДИНАМИЧЕСКОГО УПРОЧНЕНИЯ

В статье приведены сведения о магнитно-динамическом упрочнении поверхностного слоя деталей машин, разработана классификационная схема существующих разновидностей инструментов для реализации метода, представлены оригинальные конструкции инструментов для упрочняющей обработки отверстий, валов и плоских поверхностей.

Анализ существующих методов ППД показывает, что они находят ограниченное применение в промышленности по причине введения в технологический процесс дополнительной операции упрочняющей обработки, увеличивающей себестоимость изготовления деталей [1, 2]. В связи с этим возрастает актуальность разработки высокопроизводительных методов ППД, в том числе реализуемых на основе ранее неиспользуемых видов энергии.

Большой научно-практический интерес представляет новый метод магнитно-динамического упрочнения (МДУ), при котором упрочнение поверхности деформирующими элементами осуществляется за счет энергии магнитного поля. Деформирование осуществляют свободно установленными в кольцевой камере деформирующими элементами, не имеющими механической связи с корпусом инструмента. Согласно методу на деформирующие элементы воздействуют вращаемым (постоянным или переменным) магнитным полем и перемещают их вдоль упрочняемой поверхности [3–12].

Результаты экспериментальных исследований позволили установить, что магнитно-динамическое упрочнение внутренней поверхности втулок обеспечивает достижение следующих характеристик:

– снижение исходной шероховатости поверхности с Ra 12,5...6,3 до Ra 1,25...0,1;

– упрочнение поверхностного слоя детали на глубину 0,1–2 мм;

– увеличение диаметрального размера на 10–60 мкм при обработке втулок из пластичных материалов.

Метод МДУ позволяет осуществлять упрочнение деталей с исходной твердостью поверхностного слоя до HRC 50 с подачами инструмента 20–800 мм/мин.

Конструкция магнитно-динамического инструмента зависит от типа производства, в котором он используется, вида упрочняемой поверхности детали и его технологического назначения.

В условиях единичного, мелкосерийного и среднесерийного производства для осуществления процесса МДУ инструменты проектируют под конкретный тип металлообрабатывающего оборудования.

В крупносерийном и массовом производстве МДУ целесообразно осуществлять без применения металлорежущих станков на специальной установке, содержащей инструмент, а также привод вращения и подачи инструмента.

В настоящее время разработаны конструкции магнитно-динамических инструментов для обработки отверстий, валов и плоских поверхностей.

На рис. 1 изображен магнитно-центробежный раскатчик для станков

фрезерно-расточной группы, содержащий: корпус 1; деформирующие элементы 2, свободно установленные в кольцевой камере 3; магнитопроводные диски 4, 5; источник магнитного поля 6 – электромагнит или модуль с постоянными магнитами.

Корпус 1 инструмента закрепляют в шпинделе станка. Инструмент вводят в полость отверстия детали 7, сообщают ему вращение и перемещают с подачей S вдоль обрабатываемой поверхности. В

процессе обработки источник магнитного поля 6 и магнитопроводные диски 4, 5 фокусируют магнитное поле в кольцевой камере 3 в зоне расположения деформирующих элементов 2. Вращаемое магнитное поле перемещает деформирующие элементы в окружном направлении кольцевой камеры 3. Возникающая центробежная сила прижимает деформирующие элементы 2 к обрабатываемой поверхности.

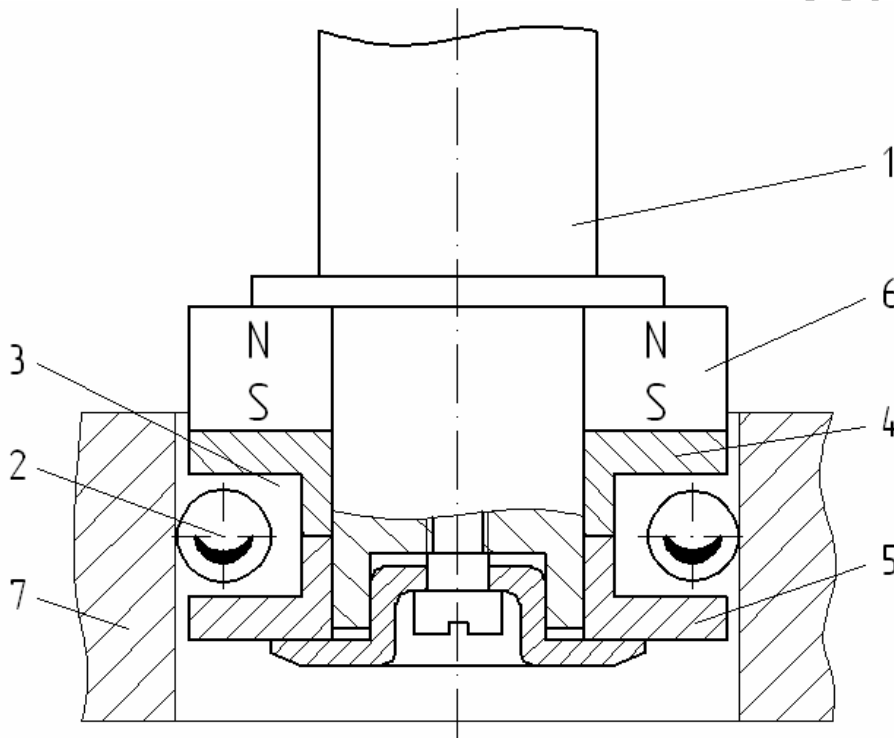


Рис. 1. Магнитно-центробежный раскатник

Одновременно на деформирующие элементы 2 действует магнитная сила, имеющая постоянную и динамическую составляющие. Наличие динамической составляющей магнитной силы обусловлено магнитным трением при перемещении деформирующих элементов в магнитном поле, а также периодическим перераспределением магнитного потока в зоне кольцевой камеры инструмента, вызываемым колебательными перемещениями деформирующих элементов. Под действием динамической магнитной силы деформирующие

элементы приобретают высокочастотные колебания, интенсифицирующие процесс упрочнения.

В результате деформирование поверхности осуществляется под действием центробежной и магнитной сил. Причем магнитная динамическая сила существенно превышает центробежную.

На рис. 2 схематично изображен магнитно-динамический раскатник, предназначенный для одновременного упрочнения поверхностного слоя детали и формирования регулярного рельефа.

Инструмент состоит: из оправки 1; дисков 2, 3; деформирующих элементов 4, установленных в кольцевой камере 5; магнитного модуля 6 с источниками магнитного

поля – постоянными магнитами 7, расположенными с равномерным угловым шагом α в нижней части кольцевой камеры 5.

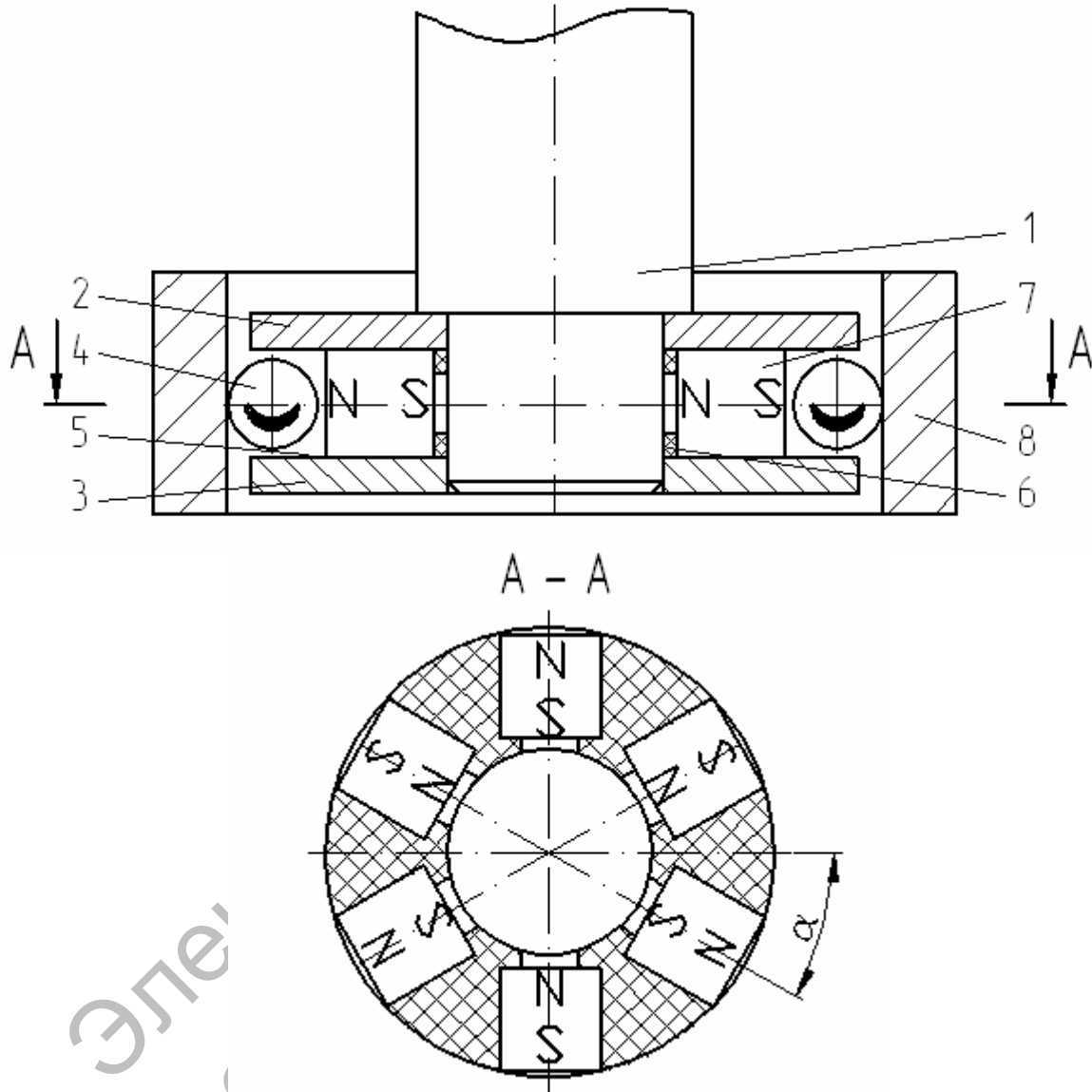


Рис. 2. Магнитно-динамический раскатник

Оправку 1 инструмента устанавливают в шпинделе станка. Инструмент вводят в отверстие упрочняемой детали 8, сообщают ему вращение и перемещают с рабочей подачей.

Магнитное поле от магнитов 7 перемещает деформирующие элементы 4 в окружном направлении кольцевой камеры 5.

Скорость вращения магнитов 7 превышает скорость вращения деформирующих элементов 4. При этом на деформирующие элементы 4 действует центробежная сила, прижимающая их к поверхности детали 8, и периодическая магнитная сила, отрывающая их от упрочняемой поверхности и направленная

к магнитам 7.

В результате инструмент обеспечивает ударное взаимодействие деформирующих элементов 4 с деталью 8, упрочнение поверхностного слоя и формирование регулярного рельефа.

Для упрочняющей обработки внутренней поверхности втулок в условиях серийного производства предназначено устройство, изображенное на рис. 3, отличительной особенностью которого является простота, надежность и безопасность. В состав устройства входят: корпус 2, шток 3, источник магнитного поля 4, кольцевая пластина 5 из антифрикционного материала, деформирующие элементы 6, регулируемый конус 7, пружина 8.

ройство, изображенное на рис. 3, отличительной особенностью которого является простота, надежность и безопасность. В состав устройства входят: корпус 2, шток 3, источник магнитного поля 4, кольцевая пластина 5 из антифрикционного материала, деформирующие элементы 6, регулируемый конус 7, пружина 8.

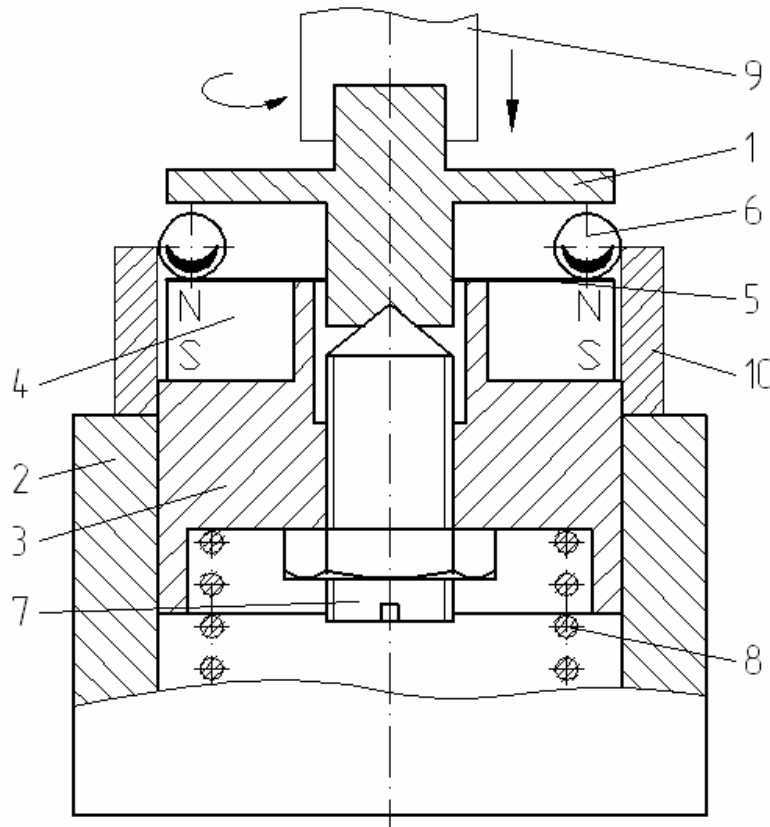


Рис. 3. Устройство для отделочно-упрочняющей обработки

Диск 1 закрепляют в шпинделе 9 сверлильного станка, а упрочняемую втулку 10 одевают на шток 3 устройства. Шпиндель опускают вниз до контакта центрального отверстия диска 1 с регулируемым конусом 7, сообщают ему вращение и перемещают с подачей в осевом направлении.

Магнитный поток от источника магнитного поля 4 проходит через деформирующие элементы 6 и замыкается на магнитопроводном диске 1. Вращение диска 1

вследствие замыкания на него магнитного потока от источника магнитного поля 4 вызывает окружное и радиальное перемещение деформирующих элементов 6. При контакте с обрабатываемой поверхностью детали 10 под действием динамической магнитной и центробежной сил деформирующие элементы 6 осуществляют ее поверхностное пластическое деформирование и формируют высокие качественные характеристики упрочняемого слоя.

Весьма эффективными являются двухрядные магнитно-динамические инструменты для упрочнения отверстий (рис. 4). Инструмент имеет: ротор 1 из немагнитопроводного материала; источник магнитного поля 2 с постоянными или дискретными характеристиками; внутренние шайбы 3, 4 из магнитопроводного материала; наружные щечки 5, 6 из немагнитопроводного материала; кольцевые камеры 7, 8; деформирующие элементы 9; шары-ударники 10.

Ротор 1 закрепляют на оправке фрезерного или расточного станка. Инструмент вводят в полость обрабатываемой детали 11, сообщают ему вращение и движение осевой подачи. Под действием вра-

щаемого магнитного поля от магнита 2 шары-ударники 10 осуществляют колебательное движение в радиальном и окружном направлениях и ударяют по деформирующим шарам 9. Деформирующие элементы 9 при этом внедряются на определенную глубину в поверхность детали 11 и оставляют на ней ряд лунок. Лунки, перекрываясь между собой, образуют регулярный рельеф, повышающий эксплуатационные характеристики поверхностного слоя. Инструмент обеспечивает высокое удельное давление в зоне контакта деформирующих элементов 9 с деталью 11, что интенсифицирует процесс упрочнения.

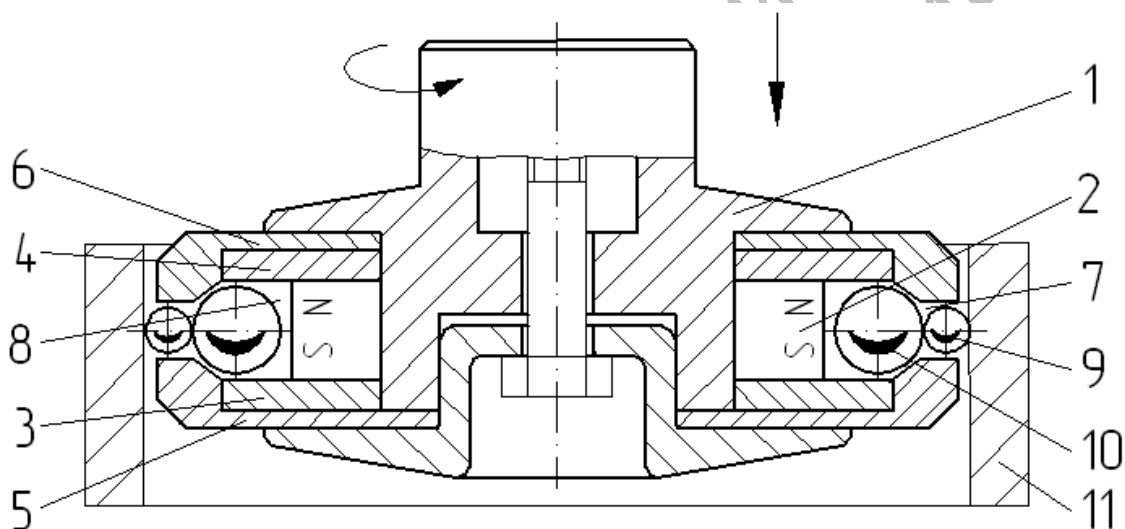


Рис. 4. Двухрядный магнитно-динамический раскатник

На рис. 5 представлен магнитно-динамический инструмент для упрочнения поверхности вала. Инструмент имеет корпус 1 и устройство для намагничивания поверхности детали в виде постоянных магнитов 2, 3. В корпусе 1 выполнены две кольцевые камеры 4, 5, расположенные в одной плоскости симметрии 6. Кольцевая камера 4 внутренней стороной выходит в полость отверстия 7 корпуса 1, а наружной – соединена с кольцевой камерой 5. В кольцевой камере 4 установлены деформирующие шары 8 малого диа-

метра, а в камере 5 – шары-отражатели 9 большого диаметра. Магниты 2, 3 выполнены с радиальной намагниченностью, удалены от кольцевой камеры 4 и не оказывают магнитного воздействия на деформирующие элементы 8. Источники магнитного поля 2, 3 установлены симметрично относительно плоскости 6 и имеют противоположное расположение полюсов, т. е. S – N и N – S.

Корпус 1 инструмента закрепляют в резцедержателе 10 станка. Отверстие 7 корпуса 1 располагают соосно оси цен-

тров станка. В полость отверстия 7 инструмента вводят упрочняемый вал 11 и закрепляют в центрах 12, 13 станка. Центры 12, 13 снабжены втулками 14, 15 из магнитопроводного материала. Плоскость симметрии 6 инструмента совмещают с торцом вала 11. Магнитный поток от источников магнитно-

го поля 2, 3 посредством магнитопроводной втулки 14 (или втулки 15 в конце обработки) равномерно замыкается на поверхностный слой вала 11. Поверхностный слой вала 11 приобретает магнитные свойства и притягивает к себе деформирующие элементы 8.

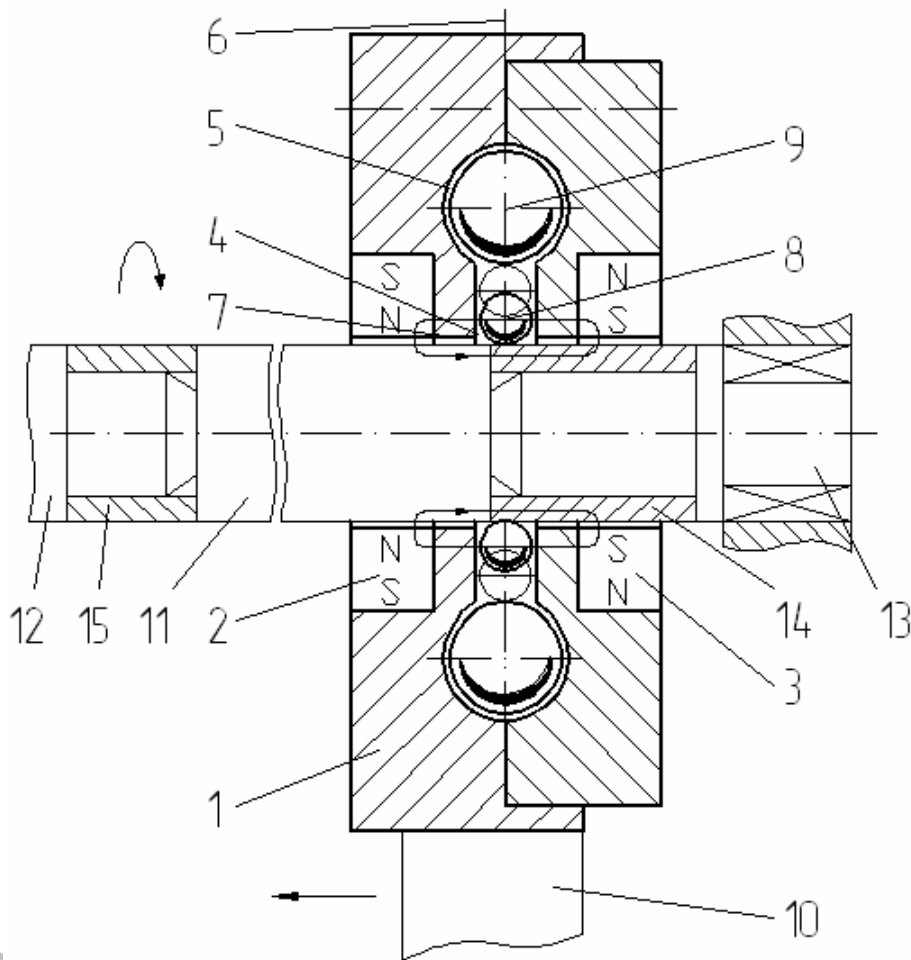


Рис. 5. Магнитно-динамический инструмент для упрочнения валов

Валу 11 сообщают вращение и перемещают инструмент вдоль обрабатываемой поверхности. При вращении вала 11 деформирующие элементы 8 разгоняются магнитным полем вала в окружном направлении кольцевой камеры 4. Под действием возникающей центробежной силы деформирующие элементы 8 расходятся в радиальном направлении и периодически сталкиваются с шарами-отражателями 9.

При столкновении с шарами-отражателями 9 деформирующие элементы 8 изменяют траекторию движения в направлении к обрабатываемой поверхности, ударяют по ней и осуществляют поверхностное пластическое деформирование.

Разработана конструкция двухрядного инструмента для обработки плоских поверхностей (рис. 6).

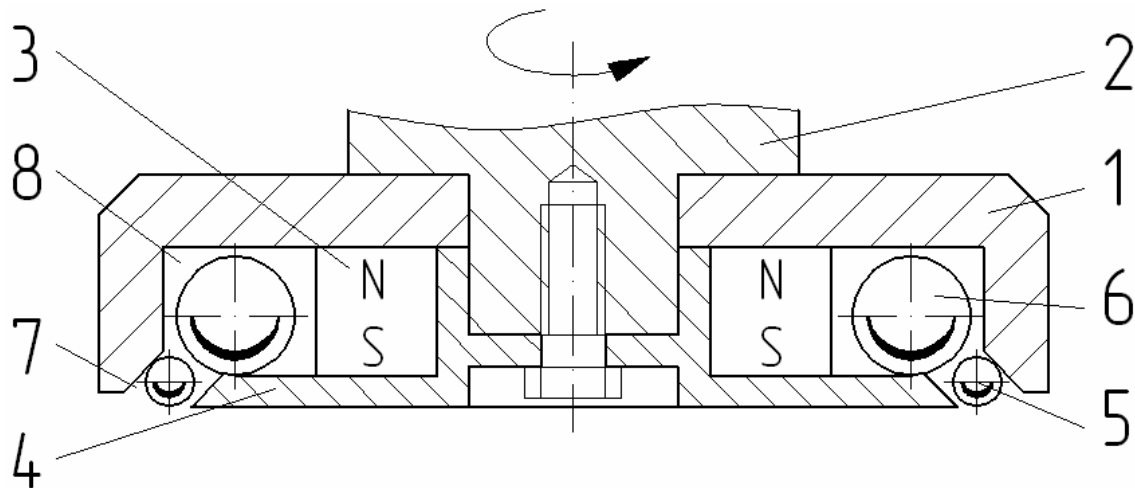


Рис. 6. Двухрядный инструмент для магнитно-динамического упрочнения плоских поверхностей

Инструмент содержит корпус 1, оправку 2, кольцевой магнит 3, опорный стакан 4, деформирующие элементы 5 и шары-ударники 6, расположенные в нижней кольцевой камере 7 и в верхней кольцевой камере 8 соответственно.

Оправку 2 инструмента закрепляют в шпинделе вертикально-фрезерного станка. Инструменту сообщают вращение, а детали – движение подачи. При вращении инструмента шары-ударники 6, расположенные в верхней кольцевой камере 8 инструмента, под действием вращающегося магнитного поля разгоняются в окружном направлении. Деформирующие элементы 5, вследствие наличия меньшей массы, чем у шаров ударников 6, удаленности от источника магнитного поля 3, взаимодействия с поверхностью детали «проскальзывают» относительно корпуса 1 инструмента и имеют незначительную скорость (на порядок отличающуюся от окружной скорости шаров-ударников 6). Перемещаясь в окружном направлении кольцевой камеры 8, шары-ударники 6 сталкиваются с деформирующими элементами 5, расположенными в нижней кольцевой камере 8 инструмента. В процессе удара деформирующие элементы 5 получают импульс силы от шаров-

ударников 6 и отскакивают от них в сторону обрабатываемой поверхности. При взаимодействии деформирующих элементов 5 с деталью происходит упруго-пластическое деформирование поверхностного слоя.

Накопленный опыт в области проектирования инструментов для МДУ позволяет классифицировать существующие разновидности их конструкций по ряду признаков:

- по виду упрочняемых поверхностей: для отверстий, для наружных поверхностей вращения, для плоских поверхностей, для фасонных поверхностей;
- по типу магнитной системы: с постоянными магнитами (феррит бария, редкоземельные, металлокерамические), с электромагнитами, комбинированные;
- по месту расположения магнитной системы: в зоне кольцевой камеры, за пределами кольцевой камеры, за пределами инструмента;
- по принципу создания крутящего момента для разгона деформирующих элементов: гистерезисные, реактивные, активные;
- по типу регулирования магнитного поля: бесступенчатое, ступенчатое, нерегулируемое;

– по методу разгона деформирующих элементов: вращением источника магнитного поля, вращением намагниченной детали, «бегущей волной» магнитного поля;

– по принципу взаимодействия деформирующих элементов с деталью: непрерывное (с изменением исходного размера, без изменения исходного размера), периодическое (низкочастотное, высокочастотное);

– по месту приложения магнитного поля: на деформирующие элементы, на деталь, совмещенное воздействие на деталь и деформирующие элементы;

– по виду магнитного поля: непрерывное, дискретное;

– по методу управления: без управления, с адаптивным управлением;

– по форме источников магнитного поля: в виде «звездочки», кольцевые, цилиндрические, пластинчатые;

– по числу и расположению кольцевых камер: однорядные, многорядные;

– по технологическому назначению: для упрочняющей обработки, для размерно-упрочняющей обработки, для формирования регулярного рельефа, для получения триботехнических покрытий;

– по виду достигаемого упрочняющего эффекта: за счет поверхностного пластического деформирования, за счет перемагничивания поверхностного слоя детали, за счет комбинированного упрочнения ППД в магнитном поле и перемагничивания поверхностного слоя детали.

Таким образом, представленные в работе оригинальные конструкции инструментов для упрочняющей обработки отверстий, валов и плоских поверхностей, а также разработанная классификация инструментов для магнитно-динамического упрочнения позволяют выбрать наиболее приемлемую конструкцию инструментов для применения в условиях производства при решении технологических задач повышения долговечности выпускаемых изделий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Минаков, А. П.** Технологические основы пневмовибродинамической обработки нежестких деталей / А. П. Минаков, А. А. Бунос, П. И. Ящерицина. – Минск : Наука и техника, 1995. – 304 с.

2. **Ящерицин, П. И.** Упрочняющая обработка нежестких деталей в машиностроении / П. И. Ящерицин, А. П. Минаков. – Минск : Наука и техника, 1986. – 215 с.

3. **Довгалев, А. М.** Основы классификации способов и инструментов для ППД в магнитном поле / А. М. Довгалев // Современные направления развития производственных технологий и робототехника : материалы междунар. науч.-техн. конф. – Могилев : ММИ, 1999. – С. 113.

4. **Довгалев, А. М.** Магнитно-динамическое упрочнение плоских поверхностей / А. М. Довгалев, С. А. Сухоцкий, Д. М. Свирепа // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии : материалы междунар. науч.-техн. конф. – Могилев : Беларус.-Рос. ун-т, 2007. – Ч. 1. – С. 93.

5. **Свирепа, Д. М.** Магнитно-динамическое упрочнение валов / Д. М. Свирепа, А. М. Довгалев, Д. М. Рыжанков // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии : материалы междунар. науч.-техн. конф. – Могилев : Беларус.-Рос. ун-т, 2007. – Ч. 1. – С. 95.

6. **Пат. 2052331 РФ, МКИ⁶ В 24 В 39/02.** Способ поверхностного пластического деформирования поверхности вращения и инструмент для его осуществления / А. М. Довгалёв (РБ). – № 4854644/08 ; заявл. 27.07.90 ; опубл. 20.01.96, Бюл. № 2. – 6 с. : ил.

7. **Пат. 2000918 РФ, МКИ⁶ В 24 В 39/02.** Инструмент для поверхностного пластического деформирования / А. М. Довгалёв (РБ). – № 4855503/27 ; заявл. 30.07.90 ; опубл. 15.10.93, Бюл. № 37–38. – 4 с. : ил.

8. **Пат. 2068769 РФ, МКИ⁶ В 24 В 39/02.** Инструмент для отделочно-упрочняющей обработки / А. М. Довгалёв (РБ). – № 4733445/08 ; заявл. 28.08.89 ; опубл. 10.11.96, Бюл. № 31. – 4 с. : ил.

9. **Пат. 2003455 РФ, МКИ⁶ В 24 В 39/02.** Инструмент для поверхностного пластического деформирования / А. М. Довгалёв (РБ). – № 4941052/27 ; заявл. 03.06.91 ; опубл. 30.11.93, Бюл. № 43–44. – 4 с. : ил.

10. **Пат. 2047470 РФ, МКИ⁶ В 24 В 39/02.** Инструмент для поверхностного пластического деформирования / А. М. Довгалёв (РБ). – № 4732047/08 ; заявл. 22.08.89 ; опубл. 10.11.95, Бюл. № 31. – 3 с. : ил.

11. **Пат. 1815190 РФ, МКИ⁶ В 24 В 39/02.** Инструмент для поверхностного пласти-

ческого деформирования / А. М. Довгалёв (РБ). – № 473323283/27 ; заявл. 28.08.89 ; опубл. 15.05.93, Бюл. № 18. – 3 с. : ил.

12. Пат. 2077416 РФ, МКИ⁶ В 24

В 39/02. Инструмент для поверхностного пластического деформирования / А. М. Довгалёв (РБ). – № 4871873/02 ; заявл. 08.10.90 ; опубл. 20.04.97, Бюл. № 11. – 3 с. : ил.

Белорусско-Российский университет
Материал поступил 15.01.2008

A. M. Dvlgalev, D. M. Svirepa, D. M. Ryzhankov
Classification of tools for magnetic-dynamic hardening

Information about magnetic and dynamic hardening of surfaces of parts has been given in the article. Classification scheme of existing types of tools for the realization of the method has been worked out. Original designs of tools for hole, shaft and flat surface hardening treatment have been given.