

DOI: 10.24412/2077-8481-2026-1-43-53

УДК 621.787

**В. К. ШЕЛЕГ**<sup>1</sup>, чл.-кор. НАН Беларуси, д-р техн. наук, проф.

**А. М. ДОВГАЛЕВ**<sup>2</sup>, д-р техн. наук, доц.

**Д. М. СВИРЕПА**<sup>2</sup>, канд. техн. наук, доц.

**И. А. ТАРАДЕЙКО**<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Белорусский национальный технический университет (Минск, Беларусь)

<sup>2</sup>Белорусско-Российский университет (Могилев, Беларусь)

## ДВУХРЯДНЫЕ ИНСТРУМЕНТЫ ДЛЯ КОМБИНИРОВАННОЙ МАГНИТНОЙ И ДЕФОРМАЦИОННОЙ ОБРАБОТКИ

### Аннотация

Разработаны конструкции двухрядных инструментов для реализации технологии комбинированной магнитной и деформационной обработки внутренних поверхностей вращения, обеспечивающей повышение характеристик качества и эксплуатационных свойств упрочненных поверхностей ферромагнитных деталей. В состав инструмента входят кольцевые камеры с деформирующими шарами, смещенные в осевом направлении, магнитные системы на основе цилиндрических постоянных магнитов из редкоземельных материалов.

### Ключевые слова:

упрочнение, деформирующие шары, магнитное поле, ударно-деформационная обработка, упрочненный поверхностный слой, шероховатость поверхности, комбинированная обработка.

### Для цитирования:

Двухрядные инструменты для комбинированной магнитной и деформационной обработки / В. К. Шелег, А. М. Довгалева, Д. М. Свирепа, И. А. Тарадейко // Вестник Белорусско-Российского университета. – 2026. – № 1 (90). – С. 43–53.

### Введение

Повышение конкурентоспособности выпускаемых изделий является одной из главных задач для машиностроительных предприятий Республики Беларусь. Решение поставленной задачи целесообразно осуществлять на основе повышения долговечности и снижения себестоимости выпускаемой продукции. Увеличение долговечности выпускаемой продукции, в свою очередь, целесообразно обеспечивать повышением характеристик качества и эксплуатационных свойств входящих в них ответственных деталей за счет применения инновационных технологий упрочняющей обработки.

В машиностроении для упрочнения поверхности цилиндрических отверстий деталей машин находят применение методы центробежно-удар-

ной [1], пневмоцентробежной [2], пневмовибродинамической [3] обработки, обеспечивающие повышение характеристик качества и эксплуатационных свойств упрочненных поверхностей. Однако указанным методам, наряду с преимуществами, присущи следующие недостатки: низкая производительность процесса отделочно-упрочняющей обработки (вследствие малой осевой подачи инструмента); сложность конструкции применяемого инструмента; необходимость наличия дополнительного источника энергии (сжатого воздуха) для разгона деформирующих шаров; высокие шумовые характеристики процесса упрочнения.

Наиболее эффективными являются методы магнитно-центробежной [4] и магнитно-динамической [5] упрочняющей обработки, в соответствии с кото-

рыми на поверхность детали из ферромагнитных материалов (далее – ферромагнитных деталей) оказывается комбинированное энергетическое воздействие вращающимся магнитным полем и центробежным или ударным деформированием, обеспечивающее получение на деталях наноструктурированного поверхностного слоя с высокими характеристиками качества и эксплуатационными свойствами [6–12].

Для реализации методов магнитно-центробежной и магнитно-динамической упрочняющей обработки внутренних цилиндрических поверхностей деталей машин разработан новый класс однорядных инструментов, содержащих корпус, одну кольцевую камеру с деформирующими шарами и магнитную систему, предназначенную для осуществления упрочняющего воздействия на поверхность ферромагнитной детали вращающимся магнитным полем (постоянным или переменным) и сообщения кинетической энергии деформирующим шарам, осуществляющим центробежное или ударно-деформационное упрочнение [13–23].

### **Постановка задачи**

Проведенные исследования процесса комбинированной магнитной и ударно-деформационной обработки с использованием однорядных инструментов (с одной кольцевой камерой с деформирующими шарами) показали, что максимальное снижение исходной шероховатости поверхности упрочняемой ферромагнитной детали обеспечивается за первых два рабочих хода инструмента [10]. В связи с этим, при реализации метода комбинированной магнитной и ударно-деформационной обработки, для обеспечения максимальной эффективности процесса упрочнения, обработку целесообразно осуществлять за два рабочих хода инструмента. Однако при этом существенно снижается производительность процесса комбинированного упрочнения.

Таким образом, актуальной является разработка двухрядных инструментов, кольцевые камеры с деформирующими шарами которых смещены в осевом направлении и которые позволяют обеспечить максимальное деформирование исходных микронеровностей поверхности за один технологический переход, тем самым повысив производительность процесса комбинированного упрочнения.

### **Основная часть**

Исходя из поставленной задачи, разработаны соответствующие конструкции инструментов для комбинированной магнитной и деформационной обработки (КМДО) внутренних цилиндрических поверхностей ферромагнитных деталей пар трения, обеспечивающие: увеличение динамической активности деформирующих шаров (за счет увеличения частоты магнитного воздействия на колеблющиеся деформирующие шары); максимальную деформацию исходных микронеровностей поверхности упрочняемой ферромагнитной детали (за счет совмещения в одном технологическом переходе ударно-деформационной и выглаживающей обработки); увеличение глубины упрочненного поверхностного слоя (за счет осуществления импульсно-ударного деформирования при взаимодействии ударных и деформирующих шаров); снижение исходной шероховатости поверхности (за счет совмещения во время магнитной и выглаживающей обработки); максимальный упрочняющий эффект (за счет предварительного разогрева поверхностного слоя ферромагнитной детали вращающимся переменным магнитным полем и совмещения во времени магнитной и ударно-деформационной обработки).

Разработанные двухрядные инструменты предназначены для реализации представленных ниже методов комбинированной отделочно-упрочняющей обработки.

**1. Комбинированная магнитная и центробежно-деформационная обработка цилиндрической поверхности отверстия.** На рис. 1 представлен двухрядный инструмент для КМДО цилиндрической поверхности отверстия ферромагнитной детали [24].

Инструмент содержит: корпус 1; буртики 2 и 3; кольцевые камеры 4 и 5; разделительную шайбу 6 с равномерно расположенными по окружности аксиальными отверстиями 7; цилиндрические

постоянные магниты 8, установленные симметрично относительно кольцевых камер 4 и 5; цилиндрические магнитопроводы 9 и 10, взаимодействующие с полюсами цилиндрических постоянных магнитов 8 и выходящие в соответствующие кольцевые камеры; деформирующие шары 11 и 12, свободно установленные в кольцевых камерах 4 и 5. Корпус 1, буртики 2, 3 и разделительная шайба 6 изготовлены из немагнитопроводных материалов.

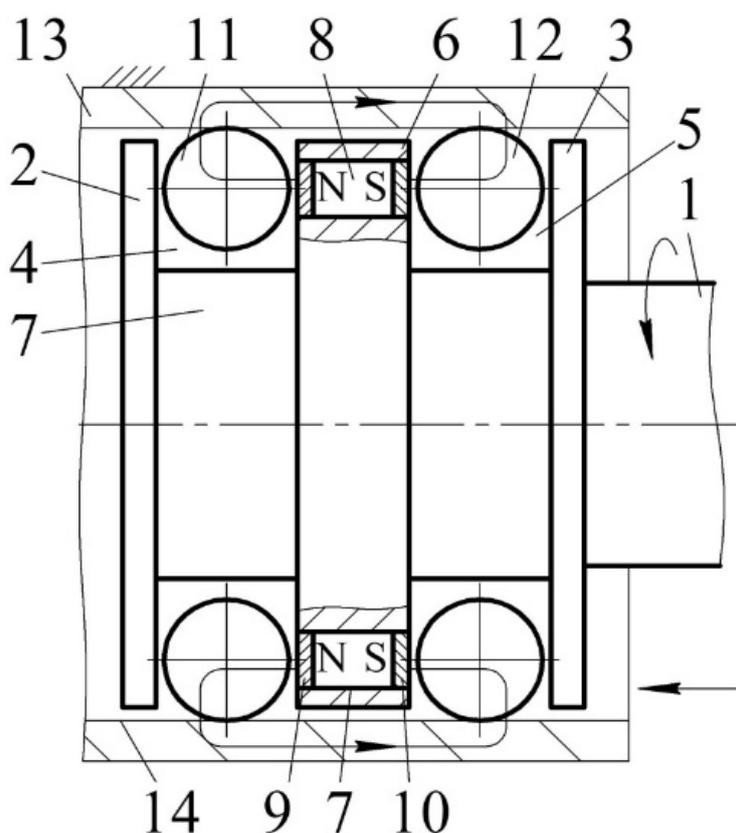


Рис. 1. Двухрядный инструмент для КМДО цилиндрической поверхности отверстия

Упрочняющую обработку осуществляют следующим образом. Ферромагнитную деталь 13 с цилиндрическим отверстием 14 устанавливают в патроне, а корпус 1 – в шпинделе специального привода станка. Инструмент устанавливают соосно поверхности цилиндрического отверстия 14, сообщают ему вращение и перемещают с осевой подачей. Магнитное поле от цилиндрических

постоянных магнитов 9 и 10 воздействует на деформирующие шары 11, 12 и разгоняет их в окружном направлении соответствующих кольцевых камер. При этом деформирующие шары 11, 12 под действием возникающей центробежной силы прижимаются к упрочняемой цилиндрической поверхности 14 и осуществляют тонкое поверхностное пластическое деформирование поверхности

ферромагнитной детали 13, одновременно воспринимающей воздействие магнитного поля (вследствие замыкания силовых линий магнитного поля, создаваемого цилиндрическими постоянными магнитами 8, через деформирующие шары 11, 12 на упрочняемую поверхность).

К недостаткам представленного инструмента следует отнести относительно невысокую динамическую активность деформирующих шаров, что снижает его технологические возможности.

Инструмент, изображенный на рис. 2, не имеет указанного недостатка.

## 2. Комбинированная магнитная и ударно-деформационная обработка внутренних поверхностей вращения.

Инструмент для реализации метода представлен на рис. 2. Инструмент включает: оправку 1; диски 2–4, образующие кольцевые камеры 5 и 6, смещенные в осевом направлении; дискретные источники магнитного поля 7 и 8 (в виде радиально установленных с равномерным угловым шагом цилиндрических постоянных магнитов из редкоземельных материалов); деформирующие шары 9 и 10, установленные в соответствующих кольцевых камерах 5 и 6.

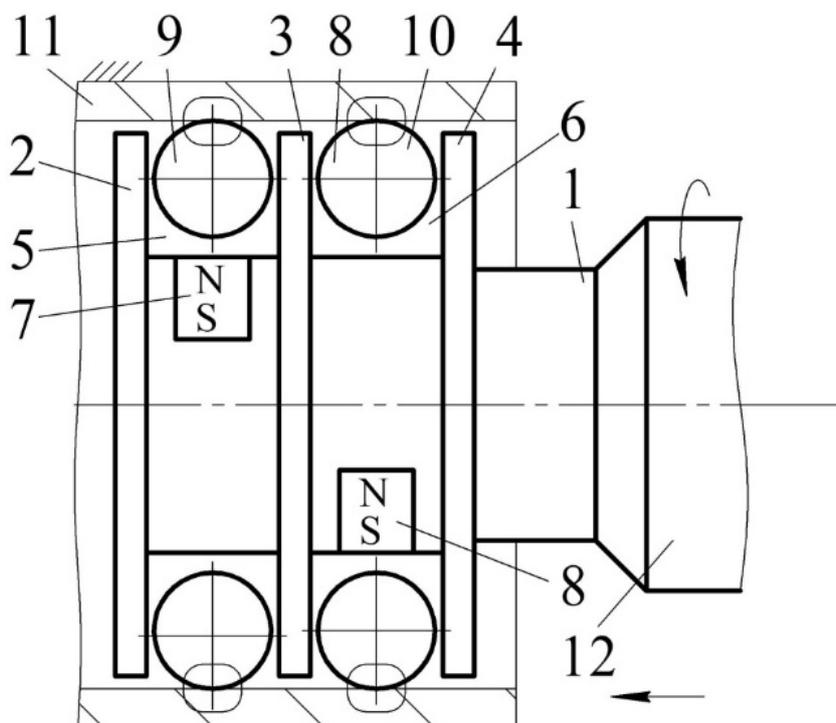


Рис. 2. Двухрядный инструмент для комбинированной магнитной и ударно-деформационной обработки

Количество источников магнитного поля 7 и 8 в кольцевых камерах 5 и 6 идентично. Источники магнитного поля 7 и 8 в смежных кольцевых камерах смещены друг относительно друга на половину шага их углового расположения (такое угловое расположение источников магнитного поля 7 и 8 позволяет обеспечить равномерное распределение

ударных сил взаимодействия деформирующих шаров 9 и 10 с упрочняемой поверхностью по периметру поперечного сечения упрочняемой ферромагнитной детали).

Для увеличения динамической активности деформирующих шаров 9 и 10 количество источников магнитного поля 7 и 8 выбирают четным и располагают

их в кольцевых камерах 5 и 6 с чередованием полюсов N и S. Оправку 1, диски 2–4 изготавливают из немагнитно-проводных материалов, что исключает рассеивание магнитного потока, создаваемого источниками магнитного поля 7 и 8, и повышает эффективность отделочно-упрочняющей обработки.

Ферромагнитную деталь 11 закрепляют в патроне, а оправку 1 инструмента – в шпинделе 12 специального приводного устройства, установленного на суппорте станка. Оправке 1 сообщают вращение и перемещают инструмент с осевой подачей. Под периодическим действием магнитного поля от цилиндрических постоянных магнитов 7 и 8 деформирующие шары 9 и 10 разгоняются в окружном направлении (кольцевых камерах 5 и 6), сталкиваются с упрочняемой поверхностью и осуществляют ее ударное поверхностное пластическое деформирование. Поскольку источники магнитного поля 7 и 8 в смежных кольцевых камерах 5 и 6 смещены (повернуты) друг относительно друга на половину шага их углового расположения, то имеет место равномерность динамического нагружения ферромагнитной детали по периметру ее поперечного сечения со стороны деформирующих элементов 9 и 10. Равномерность нагружения ферромагнитной детали 11 по периметру ее поперечного сечения динамическим усилием деформирования обеспечивает стабилизацию процесса упрочнения, повышение характеристик качества упрочняемой поверхности, исключает коробление детали и повышает геометрическую точность обработки.

Инструмент вследствие высокой динамической активности деформирующих шаров 9 и 10 обеспечивает увеличение глубины упрочненного поверхностного слоя, однако не обеспечивает сглаживания (уменьшения) в необходимых пределах шероховатости формируемой поверхности упрочняемой ферромагнитной детали.

Этого недостатка не имеет инструмент, представленный на рис. 3.

**3. Комбинированная магнитная, ударно-деформационная и центробежно-деформационная обработка.** Инструмент для осуществления указанного метода комбинированного упрочнения изображен на рис. 3.

Инструмент включает: цилиндрическую втулку 1; щетки 2–5; кольцевые камеры 6 и 7; деформирующие шары 8 и 9; магнитопровод 10 (в виде шайбы с зубьями на периферии); кольцевой магнитопровод 11; цилиндрические держатели 12–15; источники магнитного поля 16–19 в виде цилиндрических постоянных магнитов из редкоземельных материалов, установленных в аксиальных отверстиях соответствующих цилиндрических держателей; крышку 20; винт 21. Источники магнитного поля 16–19 взаимодействуют торцами с соответствующим магнитопроводом 10 или 11. Центрирующая втулка 1, щетки 2–5, цилиндрические держатели 12–15 выполнены из немагнитно-проводных материалов. Такое выполнение инструмента позволяет концентрировать магнитное поле (от источников магнитного поля 16 и 17) на зубьях магнитопровода 10, а также на периферии кольцевого магнитопровода 11 (от источников магнитного поля 18 и 19), что соответственно увеличивает динамику деформирующих шаров 8 и центробежную силу прижатия деформирующих шаров 9 к упрочняемой поверхности, осуществляющих тонкое поверхностное пластическое деформирование и сглаживание исходных микронеровностей.

Деталь 22 в виде цилиндра устанавливают в патроне, а центрирующую втулку 1 надевают на шпиндель 23 специального устройства, предназначенного для вращения инструмента. Крышку 20 соединяют со шпинделем 23 винтом 21. Ось шпинделя 23 совмещают с продольной осью детали 22. Инструменту сообщают вращение и движение

осевой подачи. В результате деформирующие шары 8, имея высокую динамическую активность, осуществляют ударно-деформационную обработку и обеспечивают увеличение глубины упрочненного поверхностного слоя,

а деформирующие шары 9 под действием центробежной силы выполняют эффективное сглаживание имеющихся микронеровностей на поверхности упрочняемой детали 22. В результате обеспечивается повышение характеристик качества упрочненной детали 22.

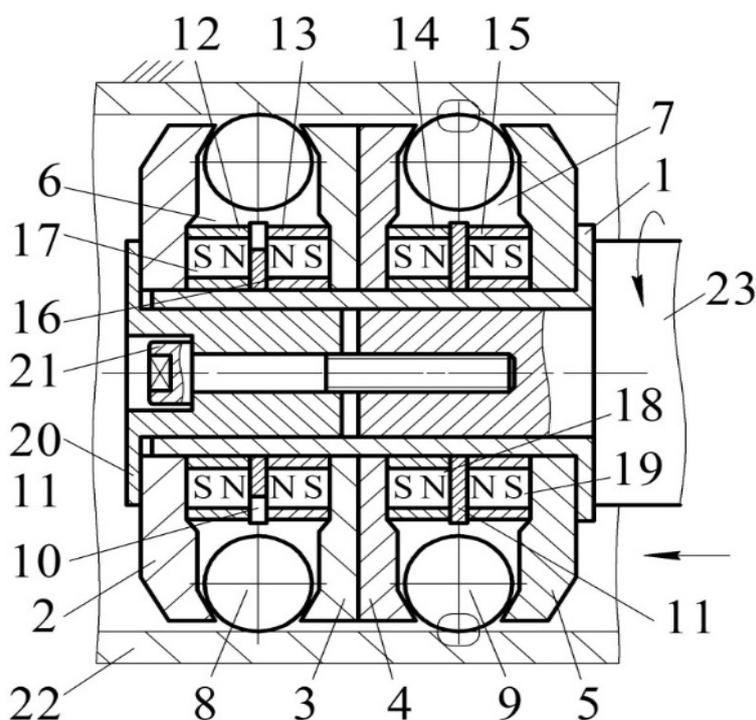


Рис. 3. Инструмент для комбинированной магнитной, ударно-деформационной и центробежно-деформационной обработки, снабженный магнитными системами, обеспечивающими концентрацию магнитного поля в зоне кольцевых камер с деформирующими шарами

**4. Комбинированная импульсно-ударная, магнитная и центробежно-деформационная обработка.** На рис. 4 изображен инструмент для КМДО, обеспечивающий увеличение глубины упрочненного поверхностного слоя за счет осуществления импульсно-ударного деформирования при взаимодействии шаров-ударников и деформирующих шаров.

В состав инструмента входят: стакан 1 с фланцем 2; центрирующая втулка 3 с буртиком 4; диски 5 и 6, образующие сопрягаемые кольцевые камеры 7 и 8; щечки 9 и 10, образующие кольцевую полость 11; деформирующие

шары 12 и 13, установленные соответственно в кольцевой камере 7 и кольцевой полости 11; шары-ударники 14, расположенные в кольцевой камере 8 с возможностью взаимодействия с деформирующими шарами 12. Инструмент снабжен магнитной системой для разгона шаров-ударников 14, имеющей источники магнитного поля 15 в виде цилиндрических постоянных магнитов из редкоземельных материалов, кольцевой магнитопровод 16, втулку 17 с аксиальными отверстиями 18, равномерно расположенными по окружности и предназначенными для установки источников магнитного поля 15. Инструмент также снабжен

магнитной системой для разгона деформирующих шаров 13, включающей цилиндрические держатели 19 и 20 с равномерно расположенными аксиальными отверстиями 21 и 22, дисковый магнитопровод 23, цилиндрические постоянные магниты 24 и 25, установленные в соответствующих аксиальных отверстиях.

Стакан 1 и центрирующая втулка 3 соединены между собой посредством оправки 26 и винта 27. Стакан 1, центрирующая втулка 3, диски 5 и 6, щетки 9 и 10, втулка 17, цилиндрические держатели 19 и 20 выполнены из немагнитных материалов, что исключает рассеивание магнитного потока, создаваемого источниками магнитного поля.

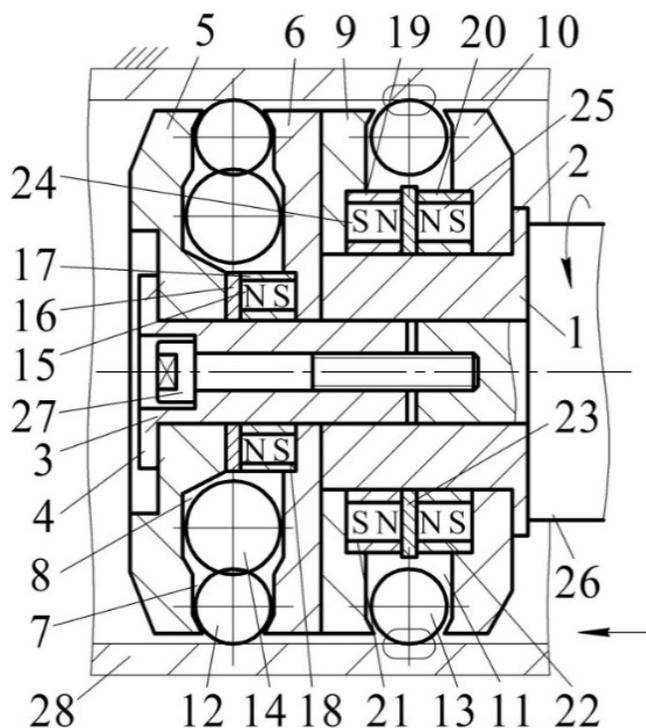


Рис. 4. Двухрядный инструмент для комбинированной импульсно-ударной, магнитной и центробежно-деформационной обработки

Ферромагнитную деталь 28 в виде гильзы закрепляют в патроне, а оправку 26 инструмента – в шпинделе специального привода, закрепленного на суппорте станка. Инструмент устанавливают соосно ферромагнитной детали 28, сообщают ему вращение и движение осевой подачи. Первыми в работу вступают деформирующие шары 12, осуществляющие импульсно-ударное деформирование и получающие импульс от вращающихся (под действием магнитного поля, создаваемого цилиндрическими постоянными магнитами 15)

шаров-ударников 14. Вследствие импульсно-ударного деформирования поверхности ферромагнитной детали 28 обеспечивается увеличение глубины упрочненного поверхностного слоя. Затем в контакт с предварительно упрочненной поверхностью вступают деформирующие тонкое поверхностное пластическое деформирование и сглаживающие имеющиеся микронеровности. При этом процесс тонкого поверхностного пластического деформирования осуществляется во вращающемся магнитном поле,

создаваемом цилиндрическими постоянными магнитами 24 и 25, силовые линии которого замыкаются на упрочняемую поверхность ферромагнитной детали 28 посредством деформирующих шаров 13.

**5. Комбинированная термомагнитная, ударно-деформационная и центробежно-деформационная обработка.** На рис. 5 изображен инструмент для комбинированной термомагнитной и

деформационной обработки (ТМДО), обеспечивающий предварительный разогрев поверхностного слоя ферромагнитной детали переменным магнитным полем (посредством индуктора с чередующимся расположением полюсов N и S источников магнитного поля) и последующую магнитную, ударно-деформационную и центробежно-деформационную обработку.

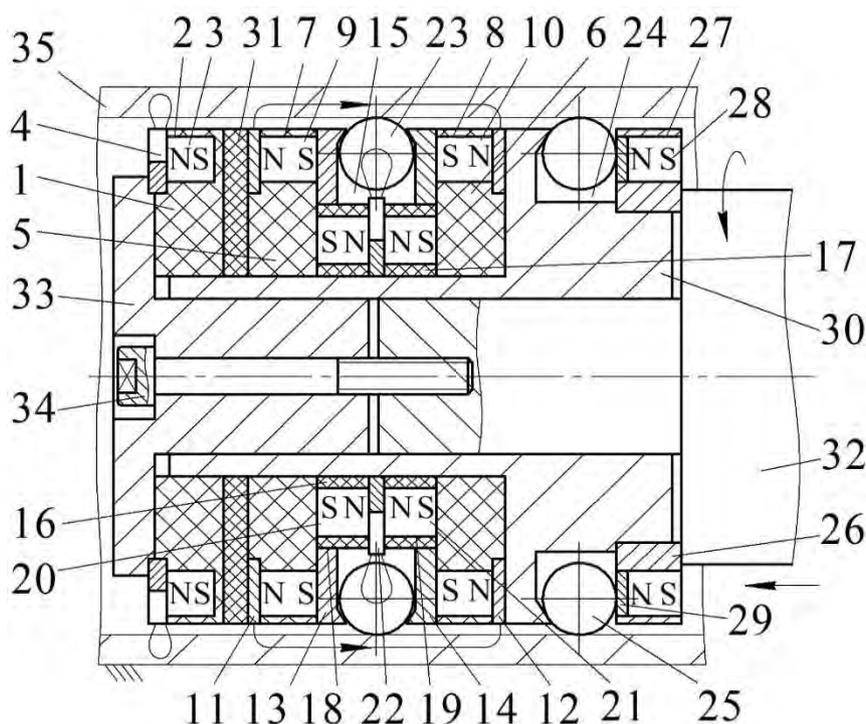


Рис. 5. Двухрядный инструмент для комбинированной термомагнитной, ударно-деформационной и центробежно-деформационной обработки

Инструмент снабжен индуктором для разогрева поверхностного слоя ферромагнитной детали устройством для магнитной упрочняющей обработки и устройством для ударно-деформационной обработки.

Индуктор для разогрева поверхностного слоя упрочняемой ферромагнитной детали имеет в своем составе диск 1 с четным количеством аксиальных отверстий 2, выполненных с равномерным угловым шагом, цилиндрические постоянные магниты 3 из редкоземельных материалов, установленные в

аксиальных отверстиях с чередованием полюсов N и S, зубчатый магнитопровод 4, зубья которого контактируют с торцами упомянутых цилиндрических постоянных магнитов 3.

Устройство для магнитной упрочняющей обработки содержит: кольцевые держатели 5 и 6 с аксиальными отверстиями 7 и 8; цилиндрические постоянные магниты 9 и 10 из редкоземельных материалов; магнитопроводы 11 и 12 (с периодической или зубчатой образующей – для создания переменного магнитного поля или с цилиндрической

образующей – для создания постоянного магнитного поля).

Устройство для осуществления ударно-деформационной обработки включает: щечки 13 и 14, образующие кольцевую камеру 15; втулки 16 и 17 с аксиально выполненными отверстиями 18 и 19; цилиндрические постоянные магниты 20 и 21 из редкоземельных материалов; зубчатый магнитопровод 22 и деформирующие шары 23, установленные в кольцевой камере 15.

Устройство для осуществления центробежно-деформационной обработки включает: кольцевую камеру 24; деформирующие шары 25; магнитную систему, состоящую из шайбы 26, выполненной из немагнитопроводного материала, с аксиальными отверстиями 27, равномерно расположенными по окружности и выходящими в кольцевую камеру 24, цилиндрических постоянных магнитов 28 и магнитопроводов 29.

Упомянутые устройства установлены соосно на цилиндрическом корпусе 30. Индуктор для разогрева поверхностного слоя ферромагнитной детали отделен защитным кольцевым экраном 31. Цилиндрический корпус 30 инструмента закреплен соосно на штанге 32 посредством упорной шайбы 33 и винта 34.

Упрочняющую обработку осуществляют следующим образом. Ферромагнитную цилиндрическую деталь 35 закрепляют в технологической оснастке, а штангу 32 – в шпинделе специального привода станка, жестко соединенного с суппортом. Штангу 32 устанавливают соосно внутренней обрабатываемой поверхности. Инструмент вращают и перемещают вдоль продольной оси ферромагнитной цилиндрической детали 35.

Вначале на обрабатываемую поверхность ферромагнитной цилиндрической детали 35 воздействует переменное магнитное поле (посредством вращения зубчатого магнитопровода и расположенных с чередованием полюсов N

и S цилиндрических постоянных магнитов из редкоземельных материалов), осуществляя предварительный разогрев поверхностного слоя возникающими индукционными токами, повышая при этом пластичность деформирующего металла. Затем, на разогретый поверхностный слой ферромагнитной цилиндрической детали 35 воздействует вращающееся магнитное поле, создаваемое постоянными цилиндрическими магнитами 9 и 10, и деформирующие шары 23, осуществляющие ударно-деформационное упрочнение. Окончательно с поверхностью детали 35 контактируют деформирующие шары 25, осуществляя центробежно-деформационное упрочнение. Таким образом, предложенный инструмент позволяет осуществлять комбинированную термомагнитную и деформационную обработку и получать синергетический упрочняющий эффект от комплексного энергетического воздействия.

### **Заключение**

В статье представлены конструкции двухрядных инструментов для комбинированной магнитной и деформационной обработки внутренних цилиндрических поверхностей ферромагнитных деталей, реализующие различные виды энергетического воздействия на упрочняемый поверхностный слой: воздействие вращающимся магнитным полем (постоянным или переменным); ударно-деформационную, центробежно-деформационную и термомагнитную обработку. Показано, что двухрядные инструменты позволяют совместить в одной операции (одном технологическом переходе) три и более вида энергетического воздействия на поверхность обрабатываемой ферромагнитной детали и получить упрочненный поверхностный слой, обладающий высокими эксплуатационными свойствами.

В работе подробно представлены конструкции магнитных систем на основе применения цилиндрических

постоянных магнитов из редкоземельных материалов, предназначенных для осуществления магнитного упрочняющего воздействия на поверхность ферромагнитных деталей и сообщения кинетической энергии деформирующим шарам, осуществляющим ударно-деформационное и центробежно-деформационное упрочнение.

Имеющиеся в статье сведения о конструкциях двухрядных инструментов позволяют адаптировать технологию комбинированной магнитной деформационной обработки к конкретным деталям, требующим повышения характеристик качества и эксплуатационных свойств.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шнейдер, Ю. Г. Инструмент для чистовой обработки металлов давлением / Ю. Г. Шнейдер. – Л. : Машиностроение, 1971. – 248 с.
2. Ящерицын, П. И. Упрочняющая обработка нежестких деталей в машиностроении / П. И. Ящерицын, А. П. Минаков. – Мн. : Наука и техника, 1986. – 215 с.
3. Минаков, А. П. Технологические основы пневмовибродинамической обработки нежестких деталей / А. П. Минаков, А. А. Бунос ; под ред. П. И. Ящерицына. – Мн. : Навука і тэхніка, 1995. – 304 с.
4. Авторское свидетельство SU 1806907, МКИ6 В24В 39/02. Инструмент для отделочно-упрочняющей обработки : заявлено 08.10.1990 : опубл. 07.04.1993 / Довгалев А. М. – 4 с.
5. Довгалев, А. М. Магнитно-динамическое и совмещенное накачивание поверхностей нежестких деталей / А. М. Довгалев. – Могилев : Бел.-Рос. ун-т, 2017. – 266 с.
6. Суслов, А. Г. Качество поверхностного слоя деталей машин / А. Г. Суслов. – М. : Машиностроение, 2000. – 320 с.
7. Магнитно-динамическое, совмещенное и комбинированное накачивание плоских поверхностей / В. К. Шелег, А. М. Довгалев, С. А. Сухоцкий, Д. М. Свирепа // Горная механика и машиностроение. – 2018. – № 3. – С. 35–42.
8. Довгалев, А. М. Определение параметров процесса совмещенного магнитно-динамического накачивания / А. М. Довгалев // Горная механика и машиностроение. – 2021. – № 2. – С. 34–39.
9. Шелег, В. К. Влияние параметров процесса совмещенного магнитно-динамического накачивания на шероховатость поверхности / В. К. Шелег, А. М. Довгалев, И. А. Тарадейко // Вестник Белорусско-Российского университета. – 2021. – № 1. – С. 71–80.
10. Шелег, В. К. Повышение эффективности процесса совмещенного магнитно-динамического накачивания / В. К. Шелег, А. М. Довгалев, И. А. Тарадейко // Горная механика и машиностроение. – 2021. – № 3. – С. 1–8.
11. Шелег, В. К. Исследование основных характеристик процесса совмещенного магнитно-динамического накачивания / В. К. Шелег, А. М. Довгалев, И. А. Тарадейко // Вестник Белорусско-Российского университета. – 2021. – № 3. – С. 81–89.
12. Шелег, В. К. Оптимизация параметров процесса совмещенного магнитно-динамического накачивания / В. К. Шелег, А. М. Довгалев, С. А. Сухоцкий // Вестник Белорусско-Российского университета. – 2022. – № 4. – С. 48–56.
13. Инструменты для комбинированной магнитно-динамической обработки поверхности валов / В. К. Шелег, А. М. Довгалев, Д. М. Свирепа, И. А. Тарадейко // Вестник Белорусско-Российского университета. – 2025. – № 3. – С. 83–91.
14. Довгалев, А. М. Классификация инструментов для магнитно-динамического упрочнения / А. М. Довгалев, Д. М. Свирепа, Д. М. Рыжанков // Вестник Белорусско-Российского университета. – 2008. – № 2. – С. 30–38.
15. Двухрядные магнитно-динамические инструменты / А. М. Довгалев, С. А. Сухоцкий, Д. М. Свирепа, Д. М. Рыжанков // Вестник Гомельского государственного технического университета им. П. О. Сухого. – 2009. – № 2. – С. 12–20.
16. Магнитно-динамические инструменты для упрочнения наружных поверхностей вращения / А. М. Довгалев, С. А. Сухоцкий, Д. М. Свирепа, Д. М. Рыжанков // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. – 2009. – № 4. – С. 174–178.
17. Инструменты для магнитно-динамического упрочнения поверхностей деталей машин / А. М. Довгалев, С. А. Сухоцкий, Д. М. Свирепа, Д. М. Рыжанков // Вестник Брестского государственного технического университета. Серия : Машиностроение. – 2009. – № 4. – С. 94–97.

18. **Dovgalev, A.** Combined magnetic dynamic rolling as process module for quality assurance / A. Dovgalev // *Technologia i automatyzacja montazu*. – 2015. – № 3. – С. 54–60.
19. **Довгалеv, А. М.** Комбинированное магнитно-вибродинамическое накатывание поверхности отверстий нежестких деталей машин / А. М. Довгалеv // *Вестник Белорусско-Российского университета*. – 2015. – № 4. – С. 14–21.
20. **Довгалеv, А. М.** Прогрессивные конструкции инструментов для совмещенного магнитно-динамического накатывания цилиндрических поверхностей / А. М. Довгалеv, И. А. Тарадейко, Н. А. Леванович // *Вестник Полоцкого государственного университета. Серия В, Промышленность. Прикладные науки*. – 2018. – № 3. – С. 47–53.
21. **Довгалеv, А. М.** Разработка магнитных систем комбинированных инструментов для совмещенного магнитно-динамического накатывания / А. М. Довгалеv // *Вестник Белорусско-Российского университета*. – 2018. – № 1. – С. 15–26.
22. **Довгалеv, А. М.** Прогрессивные конструкции инструмента для совмещенного магнитно-динамического накатывания / А. М. Довгалеv, И. А. Тарадейко // *Вестник Белорусско-Российского университета*. – 2021. – № 2. – С. 4–11.
23. **Довгалеv, А. М.** Повышение эффективности упрочнения поверхностей ферромагнитных деталей совмещенным магнитно-динамическим накатыванием / А. М. Довгалеv // *Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты)*. – 2018. – Т. 20, № 3. – С. 18–35.
24. Патент RU 2068769, МКИ6 В24В 39/02. Инструмент для отделочно-упрочняющей обработки : № 4733445/08 : заявлено 28.08.1989 : опубл. 10.11.1996 / Довгалеv А. М. ; заявитель Довгалеv А. М. – 4 с.
25. **Довгалеv, А. М.** Повышение удельной маслостойкости поверхностей деталей совмещенным магнитно-динамическим накатыванием / А. М. Довгалеv, И. А. Тарадейко // *Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии : материалы Междунар. науч.-техн. конф., Могилев, 22–23 апр. 2021 г.* – Могилев : Бел.-Рос. ун-т, 2021. – С. 46.
26. **Шелег, В. К.** Исследование основных характеристик процесса совмещенного магнитно-динамического накатывания / В. К. Шелег, А. М. Довгалеv, И. А. Тарадейко // *Вестник Белорусско-Российского университета*. – 2021. – № 3. – С. 81–89.

*Статья сдана в редакцию 30 января 2026 года*

Контакты:

sheleh\_v@tut.by (Шелег Валерий Константинович);  
rct.bru@tut.by (Довгалеv Александр Михайлович);  
svirepa.dmitry@gmail.com (Свирепа Дмитрий Михайлович);  
ivantaradeiko@yandex.ru (Тарадейко Иван Анатольевич).

**V. K. SHELEG, A. M. DOVGALEV, D. M. SVIREPA, I. A. TARADEIKO**

## **DOUBLE-ROW TOOLS FOR COMBINED MAGNETIC AND DEFORMATION TREATMENT**

### **Abstract**

Designs of two-row tools have been developed for using the combined magnetic and deformation treatment of internal surfaces of revolution. This technology improves the quality characteristics and performance properties of strengthened surfaces of ferromagnetic parts. The tool consists of axially offset ring-type chambers with deforming balls and magnetic systems based on cylindrical permanent magnets made of rare-earth materials.

### **Keywords:**

strengthening, deforming balls, magnetic field, impact deformation treatment, strengthened surface layer, surface roughness, combined treatment.

### **For citation:**

Double-row tools for combined magnetic and deformation treatment / V. K. Sheleg, A. M. Dovgalev, D. M. Svirepa, I. A. Taradeiko // *Belarusian-Russian University Bulletin*. – 2026. – № 1 (90). – P. 43–53.