
УДК 621.787

А. М. Довгалев

ИНСТРУМЕНТЫ ДЛЯ МАГНИТНО-ЦЕНТРОБЕЖНОГО И КОМБИНИРОВАННОГО НАКАТЫВАНИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

UDC 621.787

A. M. Dovgalev

TOOLS FOR MAGNETO-CENTRIFUGAL AND COMBINED ROLL FORMING OF SURFACES OF MACHINE COMPONENTS

Аннотация

Предложены новые способы формообразования поверхности деформирующими шарами во вращающемся магнитном поле инструмента, в том числе с дополнительным намагничиванием упрочняемого поверхностного слоя ферромагнитных деталей машин. Разработаны конструкции инструментов для магнитно-центробежного и комбинированного накатывания, содержащих магнитную систему на основе постоянных магнитов различной конфигурации.

Ключевые слова:

накатчик, деформирующие шары, магнитная система, магнитное поле, высокочастотные колебания, модифицированный поверхностный слой.

Abstract

The paper presents new methods of forming the surface by deforming balls in the rotating magnetic field of the tool, including additional magnetization of a hardenable surface layer of ferromagnetic machine components. Designs of tools for magneto-centrifugal and combined roll forming were developed, which contain a magnetic system based on permanent magnets of various configurations.

Key words:

roll burnisher, deforming balls, magnetic system, magnetic field, high-frequency vibrations, modified surface layer.

Введение

В большинстве случаев выход из строя механизмов технических систем связан с износом входящих в них ответственных деталей. В связи с этим повышение износостойкости поверхностей деталей машин является важной технологической задачей. Сегодня для ее решения сложно найти альтернативу методам поверхностного пластического деформирования (ППД), обеспечивающим качественные характеристики поверхностей деталей в широких пределах [1, 2]. Однако известные методы по-

верхностного пластического деформирования в той или иной мере исчерпали свои технологические возможности.

Постановка задачи

Важным направлением усовершенствования существующих методов ППД является использование энергии магнитного поля инструмента для обеспечения силового взаимодействия деформирующих элементов с упрочняемой поверхностью заготовки. Перспективной является также разработка нового класса инструментов, отличающихся

от известных наличием магнитной системы, предназначенной для сообщения деформирующим шарам рабочих колебательных движений и намагничивания поверхностного слоя упрочняемых ферромагнитных деталей [3].

Основная часть

К числу инновационных относится метод магнитно-центробежного накатывания, при котором процесс поверхностного пластического деформирования осуществляют деформирующими шарами, свободно установленными в кольцевой камере вращающегося инструмента, перемещаемого с подачей вдоль упрочняемой поверхности заготовки. Его отличие от известных методов состоит в том, что рабочие колебательные движения деформирующим шарам сообщают вращающимся магнитным полем инструмента с величиной индукции $0,1 \dots 0,8$ Тл. При этом вектор индукции магнитного поля располагают нормально плоскости вращения деформирующих шаров [4].

Для реализации метода магнитно-центробежного накатывания разработаны конструкции инструментов, каждая

из которых имеет особенности и свою область технологического применения.

Анализ разработанных конструкций инструментов для магнитно-центробежного накатывания показывает, что они включают следующие основные элементы: цилиндрическую оправку 1 из немагнитопроводного материала; деформирующие шары 2; магнитную систему, состоящую из источников магнитного поля, например из двух кольцевых постоянных магнитов 3 осевой намагниченности и магнитопроводных дисков 4, 5, установленных соосно цилиндрической оправке 1. Магнитопроводные диски 4, 5 образуют открытую кольцевую камеру 6, в которой свободно установлены деформирующие шары 2. Кольцевые постоянные магниты 3 взаимодействуют с торцами магнитопроводных дисков 4, 5. Силовые линии магнитного поля от кольцевых постоянных магнитов 3 через магнитопроводные диски 4, 5 замыкаются на деформирующие шары 2. В результате магнитное поле распределяется вдоль кольцевой камеры 6 неравномерно, концентрируясь в зоне расположения деформирующих шаров 2 (рис. 1) [5].

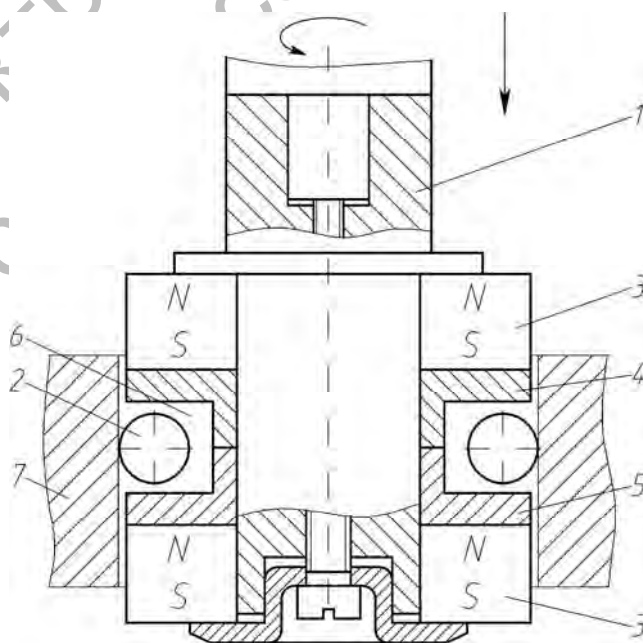


Рис. 1. Конструкция магнитно-центробежного накатника

Цилиндрическую оправку 1 инструмента закрепляют в шпинделе станка и вводят в полость отверстия обрабатываемой заготовки 7. Инструменту сообщают вращение и перемещают с подачей вдоль упрочняемой поверхности. Вращающееся магнитное поле перемещает деформирующие шары 2 по кольцевой камере 6 инструмента. Возникающая при этом центробежная сила прижимает деформирующие шары 2 к обрабатываемой поверхности заготовки 7. Одновременно на деформирующие шары 2 действует магнитная сила, имеющая постоянную и динамическую составляющие. Наличие динамической составляющей магнитной силы обусловлено магнитным трением деформирующих шаров 2 при пересечении силовых линий магнитного поля, а также периодическим перераспределением магнитного потока в зоне кольцевой камеры 6 инструмента, вызываемым колебательными перемещениями деформирующих шаров 2. Под действием динамической составляющей магнитной силы деформирующие шары приобретают высокочастотные колеба-

ния, интенсифицирующие процесс поверхностного пластического деформирования заготовки.

Конструкции инструментов

Отличительной особенностью инструментов для магнитно-центробежного накатывания является наличие магнитной системы, обеспечивающей сообщение деформирующим шарам рабочих движений. Конструкция магнитной системы инструмента проектируется с учетом требуемых характеристик качества упрочняемой поверхности, необходимых параметров динамического воздействия деформирующих шаров на поверхность заготовки, вида имеющихся в наличии источников магнитного поля, а также размера обрабатываемого отверстия.

Наиболее простую конструкцию магнитной системы имеет инструмент, в котором в качестве источника магнитного поля используется кольцевой постоянный магнит осевой намагниченности, представленный на рис. 2 [6].

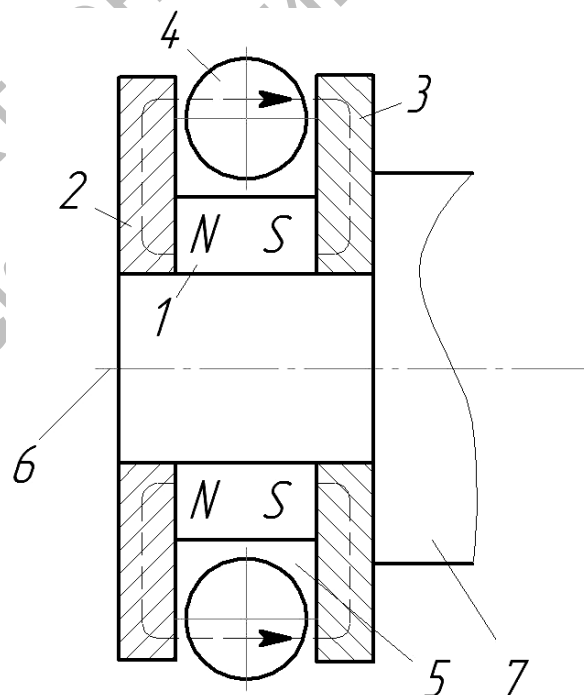


Рис. 2. Конструкция инструмента с магнитной системой на основе кольцевого постоянного магнита

В состав магнитной системы инструмента входят кольцевой постоянный магнит 1 осевой намагниченности, магнитопроводные диски 2, 3 и деформирующие шары 4. Магнитопроводные диски 2, 3 образуют кольцевую камеру 5. Деформирующие шары 4 свободно установлены в кольцевой камере 5 и имеют возможность вращения вокруг продольной оси 6 инструмента. Элементы магнитной системы соосно закреплены на оправке 7, выполненной из немагнитопроводного материала. Силовые линии магнитного поля замыкаются на магнитопроводные диски 2, 3 и деформирующие шары 4. В процессе обработки при вращении оправки 7 деформирующие шары 4 под действием вращающегося магнитного поля переме-

щаются по окружности, прижимаются центробежной силой к упрочняемой поверхности детали и осуществляют ее поверхностное пластическое деформирование.

Однако в рассматриваемой магнитной системе кольцевой постоянный магнит расположен в нижней части кольцевой камеры, что существенно увеличивает габаритные размеры инструмента.

Представленная ниже конструкция инструмента не имеет указанного недостатка, т. к. магнитная система содержит кольцевой постоянный магнит осевой намагниченности, расположенный за пределами кольцевой камеры (рис. 3) [7].

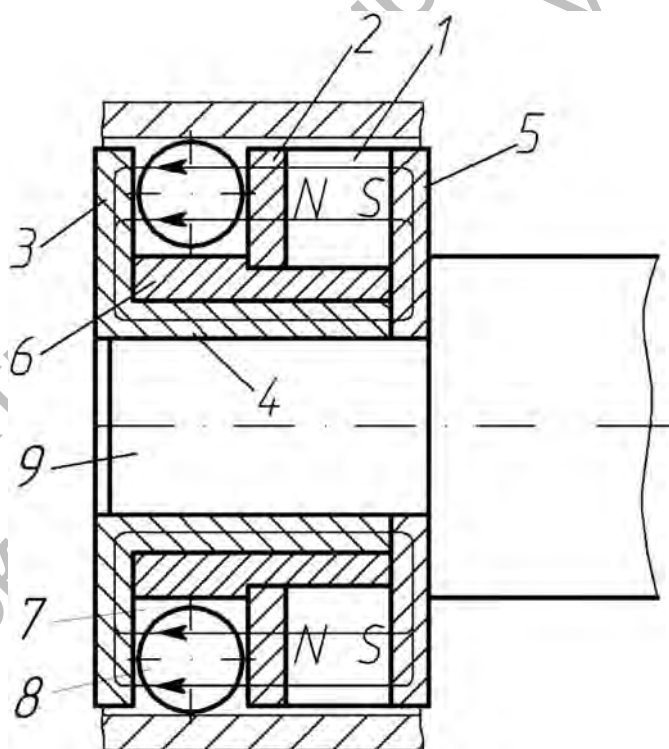


Рис. 3. Конструкция инструмента с расположением источника магнитного поля за пределами кольцевой камеры

Магнитная система инструмента содержит кольцевой постоянный магнит 1 осевой намагниченности, диск 2, стакан с фланцем 3 и цилиндрической

поверхностью 4, шайбу 5, втулку 6. Стакан с фланцем 3 и цилиндрической поверхностью 4, диск 2 и шайба 5 выполнены из магнитопроводного материала, а

штулка 6 – из немагнитопроводного. Фланец 3 и диск 2 образуют кольцевую камеру 7, в которой свободно установлены деформирующие шары 8. Магнитная система закреплена на немагнитопроводной оправке 9.

Силовые линии магнитного поля от кольцевого постоянного магнита 1 проходят через шайбу 5, цилиндрическую поверхность 4, фланец 3 стакана и замыкаются на деформирующие шары 8. В результате магнитное поле фокусируется в кольцевой камере 7 инструмента в зоне расположения деформирующих шаров 8, что повышает эффективность работы инструмента.

Особенностью работы инструментов, показанных на рис. 1...3, является «проскальзывание» деформирующих шаров относительно вращающейся магнитной системы. Вследствие этого частота вращения деформирующих шаров существенно отличается от скорости вращения оправки инструмента, что снижает производительность процесса упрочняющей обработки.

Для обеспечения согласования частот вращения деформирующих шаров и оправки инструмента разработана магнитная система с концентраторами магнитного поля, расположенными внутри кольцевой камеры (рис. 4) [8].

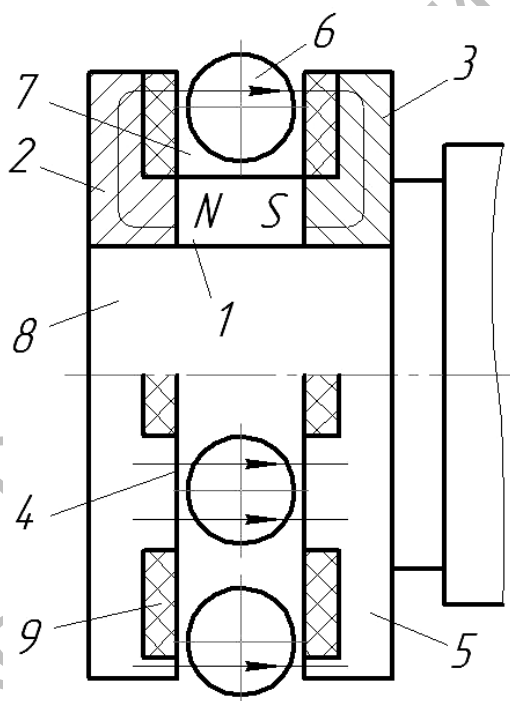


Рис. 4. Конструкция инструмента с магнитной системой, содержащей концентраторы магнитного поля

Основными элементами магнитной системы являются кольцевой постоянный магнит 1 осевой намагниченности, магнитопроводные диски 2, 3 с концентраторами магнитного поля в виде торцовых зубьев 4, 5, деформирующие шары 6. Магнитопроводные диски 2, 3 образуют кольцевую камеру 7, в которой

свободно расположены деформирующие шары 6. Кольцевой постоянный магнит 1 и магнитопроводные диски 2, 3 установлены соосно на оправке 8. Впадины торцовых зубьев 4, 5 заполнены заподлицо износостойкими пластмассовыми вкладышами 9. Оправка 8 изготовлена из немагнитопроводного мате-

риала.

Линии индукции магнитного поля от кольцевого постоянного магнита 1 посредством магнитопроводных дисков 2, 3 концентрируются на торцовых зубьях 4, 5, расположенных в зоне кольцевой камеры 7 с равномерным угловым шагом. Количество деформирующих шаров 6 принимают равным числу пар торцовых зубьев 4, 5 магнитопроводов. Деформирующие шары 6 располагаются в зоне торцовых зубьев 4, 5 магнитопроводных дисков 2, 3, что обеспечивает высокую жесткость связи деформирующих шаров 6 с магнитной системой инструмента. Деформирующие шары 6 в процессе обработ-

ки синхронно вращаются с оправкой 8 инструмента, что повышает эффективность процесса отделочно-упрочняющей обработки.

К недостаткам инструментов, имеющих магнитную систему на основе кольцевых постоянных магнитов, следует отнести то, что для конкретного диаметра обрабатываемого отверстия заготовки требуются определенные размеры источника магнитного поля.

На рис. 5 изображена конструкция инструмента, содержащего магнитную систему на основе цилиндрических постоянных магнитов, проектируемую по модульному принципу под любой диаметр обрабатываемого отверстия [9].

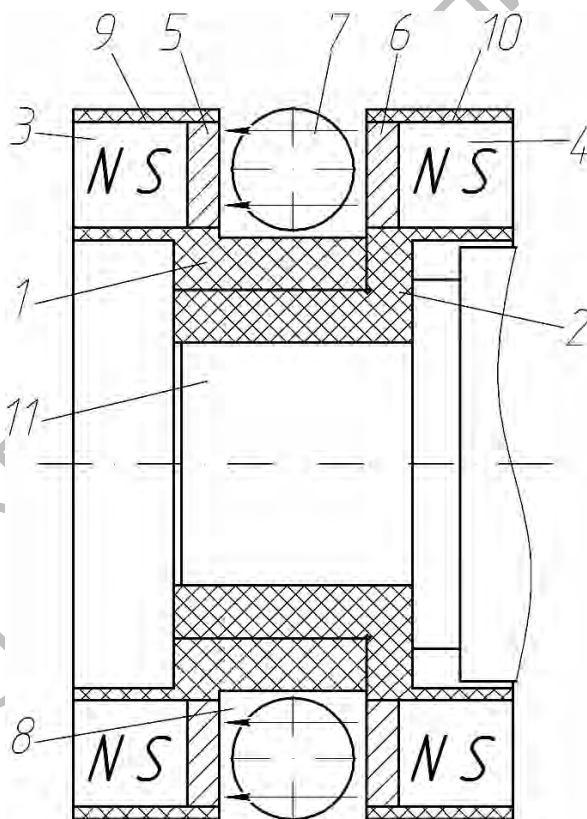


Рис. 5. Конструкция инструмента с магнитной системой на основе цилиндрических постоянных магнитов

Магнитная система включает диски 1, 2, цилиндрические постоянные магниты 3, 4, цилиндрические магнитопроводы 5, 6, деформирующие шары 7.

Диски 1, 2 образуют кольцевую камеру 8, в которой свободно расположены деформирующие шары 7. Цилиндрические постоянные магниты 3, 4 и магни-

топроводы 5, 6 установлены в аксиальных отверстиях 9, 10 дисков 1, 2 с равномерным угловым шагом. Количество цилиндрических магнитов в каждом из дисков 1, 2 соответствует числу деформирующих шаров 7, размещенных в кольцевой камере 8. Цилиндрические постоянные магниты 3, 4 расположены друг к другу противоположными полюсами. Диски 1, 2 и оправка 11 соединены между собой и выполнены из немагнитопроводного материала.

Наличие индивидуальных источников магнитного поля обеспечивает деформирующим шарам 7 в процессе упрочнения перемещение вдоль кольцевой камеры 8 и вращение вокруг оси, проходящей через геометрические центры магнитов 3, 4.

Следует отметить, что при осуществлении процесса магнитно-центробежного накатывания поверхности отверстия заготовок магнитное поле инструмента выполняет только лишь транспортную функцию – сообщает деформирующим шарам окружное вращение вокруг продольной оси инструмента и высокочастотные колебательные движения, интенсифицирующие процесс поверхностного пластического деформирования.

Усовершенствованием магнитно-центробежного накатывания является комбинированный метод упрочнения, при котором магнитное поле инструмента выполняет как транспортную, так и технологическую функцию. Согласно комбинированному методу магнитно-центробежного накатывания процесс пластического деформирования поверхности отверстия осуществляют деформирующими шарами, установленными в кольцевой камере, рабочее колебательное движение которым сообщают за счет энергии магнитного поля инструмента. Новизна метода заключается в том, что на упрочняемый поверхностный слой ферромагнитной заготовки дополнительно воздействуют вращающимся магнитным полем инструмента с индукцией 0,01...1,20 Тл [10].

Инструмент для комбинированного магнитно-центробежного накатывания содержит оправку 1, шайбу 2, винт 3, деформирующие шары 4, источник магнитного поля 5, кольцевые магнитопроводы 6, 7, обойму 8. В качестве источника магнитного поля используют цилиндрические, кольцевые или пластинчатые постоянные магниты. Оправка 1, шайба 2 и обойма 8 изготовлены из немагнитопроводного материала (рис. 6).

Оправку 1 инструмента закрепляют в шпинделе станка. Вводят инструмент в обрабатываемое отверстие неподвижно закрепленной ферромагнитной детали и совмещают их продольные оси. Магнитный поток от кольцевого постоянного магнита 5 проходит через кольцевые магнитопроводы 6 и 7, а затем замыкается на деформирующие шары 4 и поверхность отверстия ферромагнитной детали (на рис. 6 силовые линии магнитного поля от кольцевого постоянного магнита 5 условно изображены тонкими линиями). В результате деформирующие шары 4 находятся в магнитном поле инструмента. Одновременно намагничивается и поверхность отверстия детали. Оправке 1 инструмента сообщают вращение, а детали – движение подачи.

Под действием вращающегося магнитного поля деформирующие шары 4 перемещаются вдоль кольцевой камеры инструмента. Возникающая при этом центробежная сила прижимает их к поверхности отверстия. В результате деформирующие шары 4 осуществляют поверхностное пластическое деформирование детали. Одновременно поверхность детали намагничивается вращающимся магнитным полем инструмента. При этом магнитное поле разогревает неоднородный слой материала по границам кристаллических зерен деформируемого металла. Это способствует дроблению зерен упрочняемого металла деформирующими шарами, размножению дислокаций и уменьшению сил сопротивления деформированию.

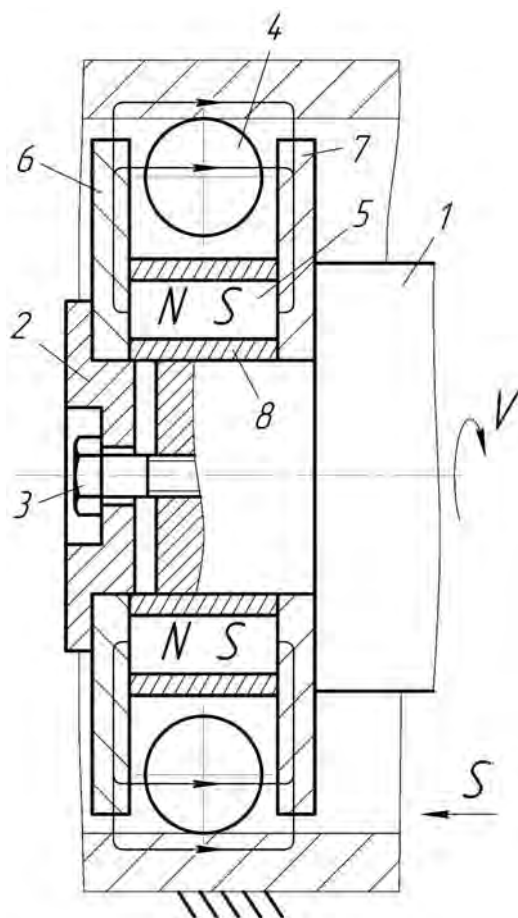


Рис. 6. Схема реализации комбинированного магнитно-центробежного накатывания

Таким образом, для осуществления комбинированного магнитно-центробежного накатывания инструментами, представленными на рис. 1...4, необходимо обеспечить зазор (в пределах 0,1...2,5 мм) между упрочняемой поверхностью детали и цилиндрическими магнитопроводами. Имеющийся зазор вызывает замыкание силовых линий магнитного поля, создаваемого магнитной системой инструмента как на деформирующие шары, так и на поверхность ферромагнитной упрочняемой детали. Указанную особенность следует учитывать при выборе характеристик магнитной системы проектируемого инструмента.

Для усиления магнитного воздействия на деталь в конструкции инструмента предусматривают дополнительную магнитную систему, обеспечивающую замыкание силовых линий магнитного поля непосредственно на поверхность ферромагнитной детали. Такая магнитная система содержит кольцевые магнитопроводы 9, 10, источники магнитного поля 11, 12 и держатели 13, 14 (рис. 7).

Совмещение во времени процессов силового и магнитного воздействий позволяет сформировать на детали модифицированный поверхностный слой, имеющий высокие эксплуатационные свойства.

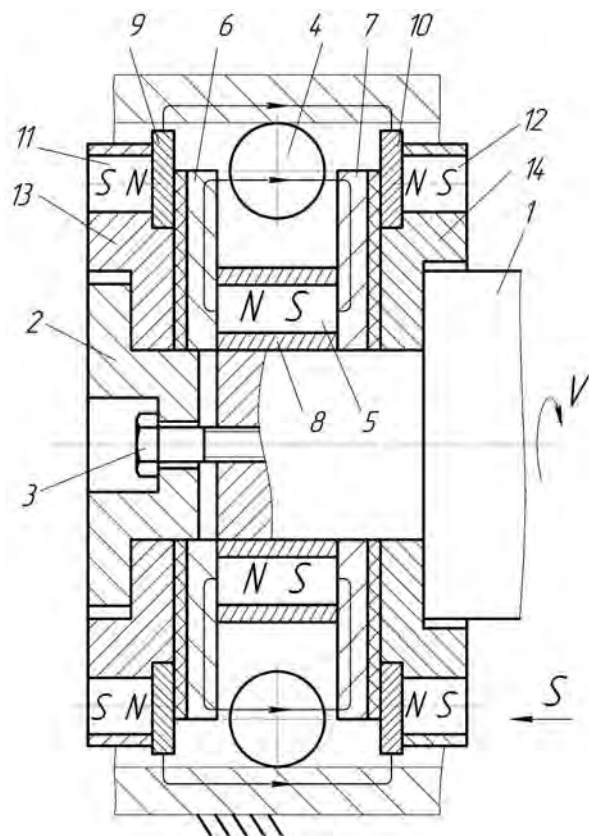


Рис. 7. Схема реализации комбинированного магнитно-центробежного накатывания с дополнительным намагничиванием поверхности детали

Заключение

В работе раскрыта сущность инновационных методов упрочнения – магнитно-центробежного и комбинированного накатывания, при которых воздействие деформирующих шаров на поверхность ферромагнитной детали осуществляется за счет энергии магнитного поля инструмента. Представлены конструкции инструментов, содержащих магнитную систему на основе постоянных магнитов, обеспечивающую намагничивание поверхностного слоя детали

и сообщение деформирующим шарам рабочих колебательных движений. Указаны особенности магнитных систем инструментов, спроектированных на основе постоянных магнитов различной конфигурации. Имеющиеся в статье сведения позволяют технологам выбрать наиболее приемлемую конструкцию инструмента для решения технологических задач по повышению эксплуатационных свойств поверхностей деталей машин.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Смелянский, В. М.** Механика упрочнения деталей поверхностным пластическим деформированием / В. М. Смелянский. – М. : Машиностроение, 2002. – 300 с.
2. **Миранович, А. В.** Обработка заготовок деталей машин : учеб. пособие / А. В. Миранович, Д. Л. Кожуро, Ж. А. Мрочек ; под ред. Ж. А. Мрочека. – Минск : Выш. шк., 2014. – 172 с.
3. **Довгалец, А. М.** Классификация инструментов для магнитно-динамического упрочнения / А. М. Довгалец, Д. М. Свирипа, Д. М. Рыжанков // Вестн. Белорус.-Рос. ун-та. – 2008. – № 2 – С. 30–38.

4. Способ и инструмент для магнитно-центробежного раскатывания внутренней поверхности круглого отверстия в металлической детали : пат. 18153 РБ, МПК В 24 В 39/02 / А. М. Довгалева, Д. М. Рыжанков ; заявитель и патентообладатель Белорус.-Рос. ун-т. – № 20111513 ; заявл. 15.11.11 ; опубл. 30.06.13. – 6 с.

5. Инструмент для отделочно-упрочняющей обработки : пат. 15022 РБ, МПК В 24 В 39/02 / А. М. Довгалева, С. А. Сухоцкий, Д. М. Рыжанков, Д. М. Свирепа ; заявитель и патентообладатель Белорус.-Рос. ун-т. – № 20091853 ; заявл. 23.12.09 ; опубл. 30.08.11. – 4 с.

6. Инструмент для упрочняющей обработки : пат. 2089372 РФ, МКИ 6 В 24 В 39/02, 39/00 / А. М. Довгалева (РБ) ; заявитель и патентообладатель А. М. Довгалева (РБ). – № 4922931/02 ; заявл. 29.03.91 ; опубл. 10.09.97. – 5 с.

7. Раскатчик с магнитоуправляемыми деформирующими элементами : пат. 11531 РБ, МПК В 24 В 39/00 / А. М. Довгалева, Д. М. Свирепа, Д. М. Рыжанков ; заявитель и патентообладатель Белорус.-Рос. ун-т. – № 20060637 ; заявл. 27.06.06 ; опубл. 28.02.08. – 4 с.

8. Инструмент для отделочно-упрочняющей обработки : пат. 11536 РБ, МПК В 24 В 39/00 / А. М. Довгалева, Д. М. Рыжанков, Д. М. Свирепа ; заявитель и патентообладатель Белорус.-Рос. ун-т. – № 20060760 ; заявл. 20.07.06 ; опубл. 28.02.08. – 4 с.

9. Инструмент для поверхностного пластического деформирования отверстия детали : пат. 18083 РБ, МПК В 24 В 39/02 / А. М. Довгалева, С. А. Сухоцкий, Д. М. Рыжанков, Д. М. Свирепа ; заявитель и патентообладатель Белорус.-Рос. ун-т. – № 20111386 ; заявл. 20.10.11 ; опубл. 30.06.13. – 4 с.

10. Способ поверхностного пластического деформирования и инструмент для его осуществления : пат. 2068770 РФ, МКИ 6 В 24 В 39/02 / А. М. Довгалева (РБ) ; заявитель и патентообладатель А. М. Довгалева (РБ). – № 4922542/27 ; заявл. 29.03.91 ; опубл. 10.11.96. – № 31. – 7 с.

Статья сдана в редакцию 15 апреля 2015 года

Александр Михайлович Довгалева, канд. техн. наук, доц., Белорусско-Российский университет.
E-mail: ret@bru.by.

Aleksandr Mikhailovich Dovgalev, PhD (Engineering), Associate Prof., Belarusian-Russian University.
E-mail: ret@bru.by.