

УДК 621.787

А. М. Довгалев

СОВМЕЩЕННАЯ ОТДЕЛОЧНО-УПРОЧНЯЮЩАЯ ОБРАБОТКА ДЕТАЛЕЙ МАШИН ВИБРОДИНАМИЧЕСКИМ НАКАТЫВАНИЕМ И ВРАЩАЮЩИМСЯ МАГНИТНЫМ ПОЛЕМ

UDC 621.787

A. M. Dovgalev

COMBINED FINISHING-AND-STRENGTHENING TREATMENT OF MACHINE PARTS BY VIBRODYNAMIC ROLL FORMING AND A ROTATING MAGNETIC FIELD

Аннотация

Представлен способ совмещенной упрочняющей обработки внутренних поверхностей вращения ответственных деталей машин вибродинамическим накатыванием и вращающимся магнитным полем. Описаны конструкции комбинированных инструментов для реализации способа в условиях серийного производства, позволяющих совместить во времени вибродинамическую и магнитную упрочняющую обработки.

Ключевые слова:

совмещенная обработка, упрочнение, накатывание, инструмент, деформирующие шары, магнитная система, поверхностное пластическое деформирование.

Abstract

The paper presents the technique of combined strengthening treatment of internal surfaces of revolution of critical machine parts by means of vibrodynamic roll forming and a rotating magnetic field. The designs of combined tools for using this technique in mass production are described, which allow both vibrodynamic treatment and magnetic strengthening to be performed simultaneously.

Key words:

combined machining, strengthening, roll forming, tool, deforming balls, magnetic system, surface plastic deformation

Введение

В машиностроении существует большое разнообразие ответственных деталей машин, имеющих внутренние цилиндрические поверхности, к качеству и эксплуатационным характеристикам которых предъявляются высокие требования. К их числу относятся пневматические и гидравлические цилиндры, подшипники скольжения, втулки, кольца, крышки и т. п. Требуемые качественные характеристики поверхностей отверстий указанных деталей,

как правило, обеспечивают применением динамических методов поверхностного пластического деформирования (ППД) на финишных операциях технологического процесса [1].

Перспективным методом ППД является магнитно-вибродинамическое накатывание, при котором поверхность детали упрочняют шарами, получающими энергию деформирования от магнитной системы инструмента. Магнитно-динамическое накатывание внутренних поверхностей вращения деталей

машин осуществляют инструментами, содержащими магнитную систему на основе постоянных магнитов различной конфигурации, сообщающую деформирующим шарам рабочие колебательные движения [2, 3].

Однако метод магнитно-вибродинамического накатывания не предполагает совмещенного воздействия на поверхностный слой упрочняемой ферромагнитной детали вращающимся магнитным полем и динамическим поверхностным пластическим деформированием. Кроме того, имеющиеся конструкции инструментов для реализации магнитно-вибродинамического накатывания находят применение в условиях единичного и мелкосерийного производства.

Постановка задачи

Разработка способа отделочно-упрочняющей обработки, позволяющего совместить во времени процессы воздействия на поверхность ферромагнитной детали колеблющимися деформирующими шарами и вращающимся магнитным полем инструмента, является весьма актуальной. Для реализации способа в условиях серийного производства необходимо спроектировать инструменты, дающие возможность осуществлять базирование и закрепление заготовки, а также обеспечивать совмещенную упрочняющую обработку ее внутренней поверхности.

Основная часть

В соответствии с поставленной задачей разработан способ совмещенного магнитно-вибродинамического упрочнения, при котором на поверхность отверстия неподвижно закрепленной ферромагнитной заготовки одновременно воздействуют магнитно-вибродинамическим накатыванием, осуществляемым перемещаемыми с подачей деформирующими шарами, свободно расположенными в кольцевой полости и получаю-

щими колебательные движения от магнитной системы, а также вращающимся постоянным или переменным магнитным полем инструмента с величиной индукции $0,05 \dots 1,2$ Тл [4, 5].

Для реализации разработанного способа совмещенной упрочняющей обработки в условиях серийного производства спроектированы конструкции инструментов, содержащие корпус, устройства базирования и закрепления заготовки, а также магнитную систему, предназначенную для возбуждения деформирующим шаром рабочих колебательных движений и воздействия на поверхность ферромагнитной заготовки вращающимся магнитным полем.

Совмещенную упрочняющую обработку заготовок в условиях серийного производства осуществляют на металлорежущих станках сверлильно-фрезерно-расточной группы с вертикальным расположением шпинделя, длина рабочего хода которых соизмерима или превышает линейные размеры упрочняемой поверхности.

На рис. 1 изображена схема совмещенного магнитно-вибродинамического упрочнения (МВДУ) внутренней поверхности ферромагнитных втулок на вертикально-сверлильном станке.

Для реализации процесса совмещенного упрочнения разработан инструмент, имеющий вертикальную компоновку и содержащий следующие основные элементы: цилиндрический корпус 1; ротор 2 с шейкой 3; источники магнитного поля 4, выполненные в виде цилиндрических постоянных магнитов, установленных радиально на роторе 2 (предназначены для периодического магнитного воздействия на деформирующие шары 7); источник магнитного поля 5 в виде кольцевого постоянного магнита или дискретно установленных цилиндрических постоянных магнитов (необходимы для намагничивания упрочняемой поверхности ферромагнитной детали); деформирующие шары 7; шайбу 8; плунжер 9; подшип-

ник 10; шариковые опоры 11; пружину 12; элемент крепления упрочняемой детали в виде упругого кольца 13; поводковый центр 14 с рабочим элементом 15. Шейка 3 ротора 2 соединена с

плунжером 9 через подшипник 10. Цилиндрический корпус 1, ротор 2 и плунжер 9 изготовлены из немагнитных материалов.

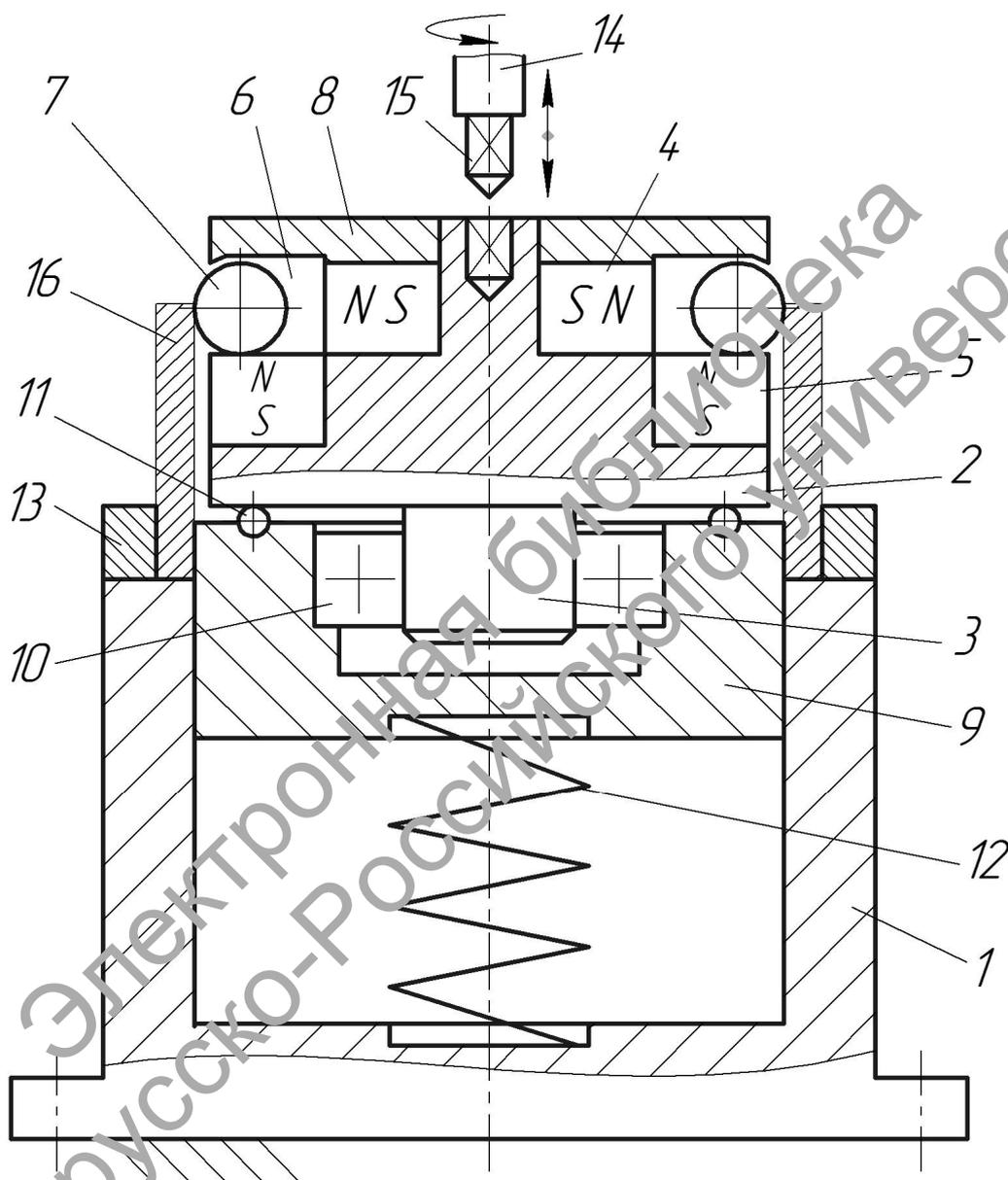


Рис. 1. Схема совмещенного магнитно-вибродинамического упрочнения внутренней поверхности втулок на вертикально-сверлильном станке: 1 – цилиндрический корпус; 2 – ротор; 3 – шейка; 4, 5 – источники магнитного поля; 6 – кольцевая камера; 7 – деформирующие шары; 8 – шайба; 9 – плунжер; 10 – подшипник; 11 – шариковые опоры; 12 – пружина; 13 – упругое кольцо; 14 – поводковый центр; 15 – рабочий элемент поводкового центра; 16 – упрочняемая ферромагнитная втулка

Поводковый центр 14, имеющий небольшой вес, закрепляют в шпинделе вертикально-сверлильного станка. Упроч-

няемую ферромагнитную втулку 16 устанавливают внутренней поверхностью на плунжер 9 и фиксируют на кор-

пусе 1 посредством нагружения торца упругого кольца 13. Плунжер 9 при этом занимает крайнее верхнее положение, а плоскость вращения деформирующих шаров 7 находится на уровне верхнего торца упрочняемой ферромагнитной втулки 16. Вертикальную ось инструмента совмещают с осью шпинделя вертикально-сверлильного станка. Рабочий элемент 15 поводкового центра 14 вводят в контакт с сопрягаемой поверхностью ротора 2. Шпинделю станка сообщают вращение и движение вертикальной подачи. Поводковый центр 14 вращает ротор 2 с источниками магнитного поля 4, 5. Деформирующие шары 7 под влиянием вращающегося периодически действующего магнитного поля, создаваемого цилиндрическими постоянными магнитами 4, получают колебательные движения и осуществляют вибродинамическое накатывание поверхности отверстия обрабатываемой втулки 16. При этом одновременно на поверхностный слой ферромагнитной втулки 16 действует вращающееся магнитное поле, создаваемое источником магнитного поля 3. В результате обеспечивается совмещенная упрочняющая обработка втулки 16 вибродинамическим накатыванием деформирующими шарами 7 и вращающимся магнитным полем инструмента, повышающая как естественные и эксплуатационные характеристики поверхности.

По мере перемещения деформирующих шаров 7 вдоль упрочняемой поверхности плунжер 9 опускается вниз. В конце рабочего хода инструмента шпиндель станка останавливают и осевым перемещением вверх выводят его из зоны обработки. При этом плунжер 9 и ротор 2 с деформирующими шарами 7 возвращаются в крайнее верхнее положение. Упрочненную втулку 16 снимают с плунжера 9 и повторяют цикл обработки [6].

Совмещенное упрочнение деталей инструментом, изображенным на рис. 1, предусматривает вращение достаточно

массивного ротора с установленными на нем источниками магнитного поля, что затрудняет осуществление процесса на высоких частотах вращения шпинделя станка.

На рис. 2 представлен инструмент, не имеющий указанного недостатка и позволяющий производить совмещенную упрочняющую обработку в широком диапазоне частот вращения шпинделя.

В состав инструмента входят: цилиндрический корпус 1; шток 2; источник магнитного поля в виде кольцевого постоянного магнита 3 осевой намагниченности; шайба 4; кольцевая камера 5; деформирующие шары 6; кожух 7; вращающийся центр 8; полый пик 9; пружина 10; кольцевой магнитопровод 11 с радиальными отверстиями 12; оправка 13; упругое кольцо 14, предназначенное для закреплении детали.

Упрочняемый ферромагнитный цилиндр 15 одевают на шток 2 и закрепляют его на цилиндрическом корпусе 1 посредством приложения осевого усилия к торцевой поверхности упругого кольца 14. Оправку 13 жестко соединяют с кольцевым магнитопроводом 11, устанавливают в шпинделе станка и вводят в контакт с вращающимся центром 8 инструмента. Магнитный поток от кольцевого постоянного магнита 3 замыкается на деформирующие шары 6, кольцевой магнитопровод 11 и поверхностный слой ферромагнитного цилиндра 15. Радиальные отверстия 12, выполненные на кольцевом магнитопроводе 11, позволяют распределить магнитное поле вдоль кольцевой камеры 5 инструмента по гармоническому закону.

Оправке 13 с магнитопроводом 11 сообщают вращение и движение вертикальной подачи. Под периодическим действием магнитного поля деформирующие шары 6 вращаются относительно вертикальной оси инструмента, получают колебания и осуществляют вибродинамическое накатывание, совмещенное с намагничиванием поверх-

ностного слоя ферромагнитного цилиндра 15 [7].

Отличительной особенностью рассмотренного инструмента является одностороннее расположение источника магнитного поля к деформирующим шарам, что приводит к рассеиванию магнитного поля и снижению эффек-

тивности процесса упрочнения.

Высокую эффективность совмещенной упрочняющей обработки обеспечивает инструмент, позволяющий концентрировать магнитное поле в зоне расположения деформирующих шаров (рис. 3).

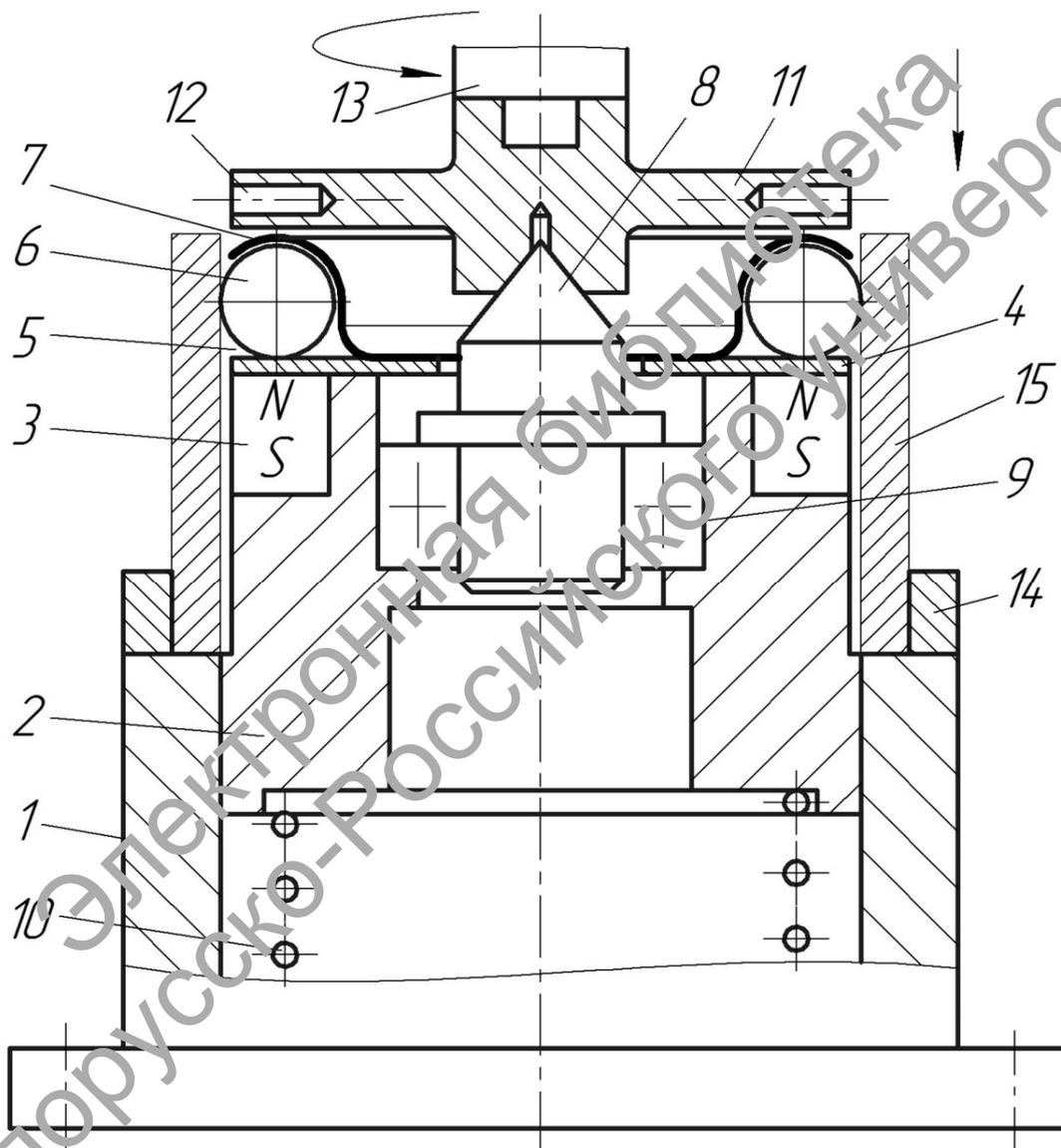


Рис. 2. Схема инструмента с вращающимся магнитопроводом для совмещенной упрочняющей обработки внутренней поверхности цилиндров: 1 – цилиндрический корпус; 2 – шток; 3 – источник магнитного поля; 4 – шайба; 5 – кольцевая камера; 6 – деформирующие шары; 7 – кожух; 8 – вращающийся центр; 9 – подшипник; 10 – пружина; 11 – кольцевой магнитопровод; 12 – радиальные отверстия; 13 – оправка; 14 – упругое кольцо; 15 – упрочняемый цилиндр

кольцевого постоянного магнита 7 посредством магнитопроводной втулки 3 концентрируется на магнитопроводном диске 2. В результате на деформирующие шары 10 инструмента действует сфокусированное магнитное поле, полюс N которого расположен на торцевой поверхности прокладки 9, а полюс S – на поверхности магнитопроводного диска 2. Это повышает эффективность воздействия вращающегося магнитного поля на деформирующие шары 10 инструмента и поверхностный слой ферромагнитной втулки 15 и обеспечивает повышение производительности совмещенной упроч-

няющей обработки [8].

При совмещенном упрочнении нежестких заготовок ранее описанными инструментами в ряде случаев имеет место снижение точности геометрической формы вследствие деформации заготовок под действием сил закрепления.

Для совмещенного упрочнения внутренней поверхности нежестких втулок разработан специальный инструмент, применяемый на станках фрезерной группы, обеспечивающий автоматическое закрепление втулок с приложением соответствующих сил в их торец (рис. 4).

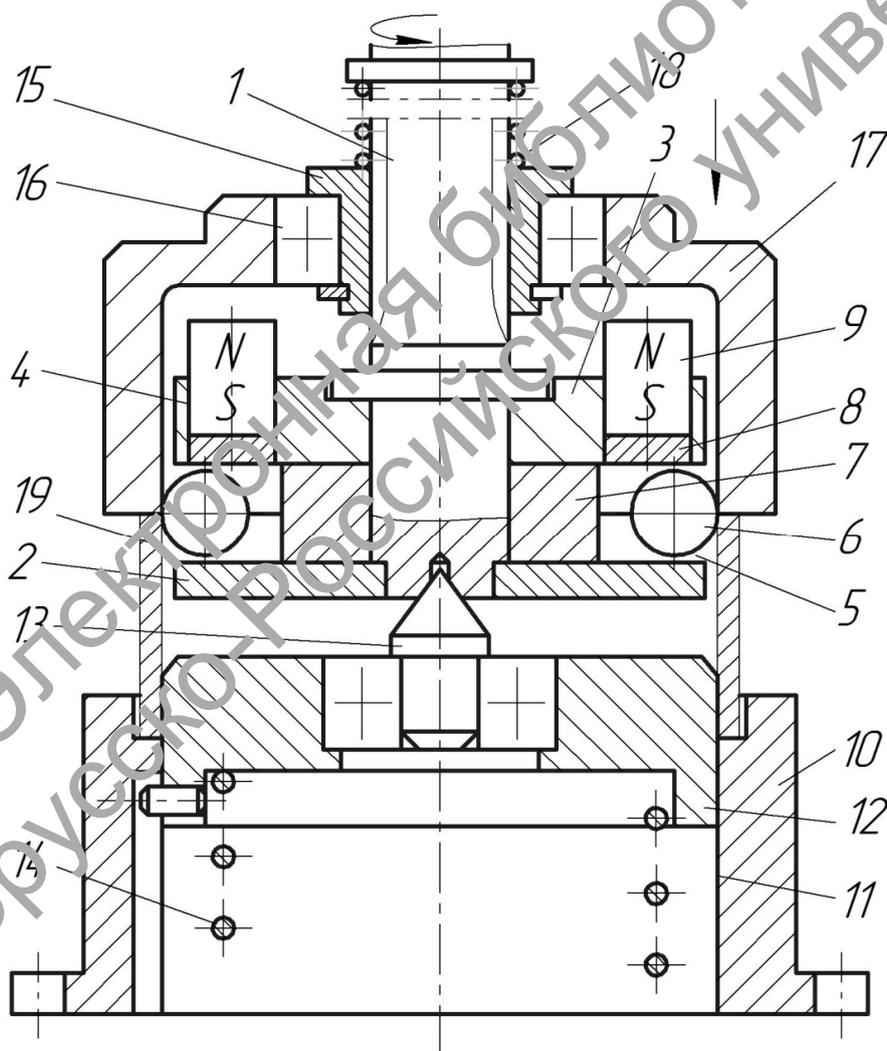


Рис. 4. Инструмент для совмещенной упрочняющей обработки нежестких втулок в условиях серийного производства: 1 – оправка; 2 – шайба; 3 – диск; 4 – аксиальные отверстия; 5 – кольцевая камера; 6 – деформирующие шары; 7 – проставочное кольцо; 8 – цилиндрические магнитопроводы; 9 – цилиндрические постоянные магниты; 10 – корпус; 11 – центральное отверстие; 12 – шток; 13 – вращающийся центр; 14 – пружина возврата; 15 – гильза; 16 – подшипниковая опора; 17 – цилиндрический кондуктор; 18 – пружина; 19 – упрочняемая втулка

Инструмент имеет следующие основные детали: оправку 1; шайбу 2; диск 3 с аксиально расположенными отверстиями 4; кольцевую камеру 5; деформирующие шары 6; проставочное кольцо 7; цилиндрические магнитопроводы 8; цилиндрические постоянные магниты 9. Механизм закрепления нежестких втулок включает: корпус 10 с центральным отверстием 11; шток 12; вращающийся центр 13; пружину возврата 14; гильзу 15; подшипниковую опору 16; цилиндрический кондуктор 17; пружину 18. Гильза 15 сжимает пружину 18 и имеет возможность перемещения по оправке 1. Цилиндрический кондуктор 17 установлен соосно оправке 1 и соединен с гильзой 15 посредством подшипниковой опоры 16. Цилиндрические магнитопроводы 8 запрессованы в отверстиях 4 диска 3. Цилиндрические постоянные магниты 9 установлены в отверстиях 4 и взаимодействуют торцами с магнитопроводами 8. Оправка 1, шайба 2, диск 3, проставочное кольцо 7 изготовлены из немагнитопроводных материалов.

Нежесткую ферромагнитную втулку 19 одевают отверстием на шток 12 и перемещают до взаимодействия с торцевой поверхностью корпуса 10. Оправку 1 закрепляют к шпинделю станка. Вертикальным перемещением шпинделя поверхность центрального отверстия оправки 1 вводят в контакт с вращающимся центром 13 инструмента. Цилиндрический кондуктор 17 посредством пружины 18 нагружает торец втулки 19 усилием и прижимает ее к торцевой поверхности корпуса 1. Это позволяет отказаться от закрепления

втулок по наружной поверхности и исключить их деформацию под действием сил зажима.

При вращении оправки 1 силовые линии магнитного поля от цилиндрических постоянных магнитов 9 замыкаются на деформирующие шары 6 инструмента и внутреннюю поверхность ферромагнитной втулки 19. В результате осуществляется совмещенная упрочняющая обработка поверхности втулки 19 вибродинамическим накатыванием колеблющимися деформирующими шарами 6 и вращающимся магнитным полем инструмента.

После окончания совмещенной упрочняющей обработки шпиндель станка останавливают и перемещают вверх в исходное положение. Оправка 1 выходит из контакта с вращающимся центром 13, а цилиндрический кондуктор 17 – с торцом упрочняемой втулки 19 [9].

Заключение

Представлен способ совмещенной упрочняющей обработки внутренних поверхностей вращения ферромагнитных деталей вибродинамическим накатыванием и вращающимся магнитным полем инструмента. Описаны конструкции инструментов для реализации способа в условиях серийного производства, содержащие: корпус; деформирующие шары, свободно установленные в кольцевой камере; магнитную систему; привод магнитной системы; устройства базирования и закрепления упрочняемых деталей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Обработка заготовок деталей машин : учеб. пособие / А. В. Миранович [и др.] ; под ред. Ж. А. Мрочка. – Минск : Выш. шк., 2014. – 172 с. : ил.
2. Способ магнитно-динамического упрочнения внутренней поверхности круглого отверстия в металлической детали : пат. 17976 РБ, МПК В 24 В 39 / 02 / А. М. Довгалева, Д. М. Свирица ; заявитель Белорус.-Рос. ун-т. – № а20120052 ; заявл. 16.01.12 ; опубл. 30.06.13 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2013. – № 3. – 4 с.

3. Инструмент для упрочняющей обработки : пат. 2068768 РФ, МКИ⁶ В 24 В 39 / 02 / А. М. Довгалеv (РБ) ; заявитель и патентообладатель А. М. Довгалеv (РБ). – № 4732048/08 ; заявл. 22.08.89 ; опубл. 10.11.96, Бюл № 31. – 4 с.

4. Способ поверхностного пластического деформирования и инструмент для его осуществления : пат. 2068770 РФ, МКИ⁶ В 24 В 39 / 02 / А. М. Довгалеv (РБ); заявитель и патентообладатель А. М. Довгалеv (РБ). – № 4922542/27 ; заявл. 29.03.91 ; опубл. 10.11.96, Бюл № 31. – 6 с.

5. Способ поверхностного пластического деформирования и инструмент для его осуществления: пат. 2089373 РФ, МКИ⁶ В 24 В 39 / 02 / А. М. Довгалеv (РБ) ; заявитель и патентообладатель А. М. Довгалеv (РБ). – № 4924841/02 ; заявл. 05.04.91 ; опубл. 10.09.97, Бюл № 25. – 6 с.

6. Устройство для отделочно-упрочняющей обработки : пат. 10065 РБ, МПК В 24 В 39 / 02 / А. М. Довгалеv, Д. М. Свирепа, Д. М. Рыжанков ; заявитель Белорус.-Рос. ун-т. – № а20050604 ; заявл. 16.06.05 ; опубл. 30.12.07 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2007. – № 4. – 4 с.

7. Устройство для отделочно-упрочняющей обработки : пат. 15021 РБ, МПК В 24 В 39 / 02 / А. М. Довгалеv, Д. М. Свирепа, Д. М. Рыжанков, С. А. Сухоцкий ; заявитель Белорус.-Рос. ун-т. – № а20091610 ; заявл. 13.11.09 ; опубл. 30.10.11 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2011. – № 4. – 4 с.

8. Устройство для поверхностного пластического деформирования : пат. 15091 РБ, МПК В 24 В 39 / 02 / А. М. Довгалеv, С. А. Сухоцкий, Д. М. Свирепа, Д. М. Рыжанков, С. Н. Близюк ; заявитель Белорус.-Рос. ун-т. – № а20090950 ; заявл. 26.06.09 ; опубл. 30.12.11 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2011. – № 4. – 4 с.

9. Устройство для поверхностного пластического деформирования внутренней поверхности нежесткой втулки : решение от 26.12.2013 о выдаче патента на изобретение по заявке № а2011137 МПК В 24 В 39 / 02 / А. М. Довгалеv, Д. М. Рыжанков, Д. М. Свирепа, С. А. Сухоцкий ; заявитель Белорус.-Рос. ун-т ; заявл. 15.12.11.

Статья принята в редакцию 20 июня 2016 года

Александр Михайлович Довгалеv, 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.