

DOI: 10.53078/20778481_2021_3_81

УДК 621:787

В. К. Шелег, А. М. Довгалева, И. А. Тарадейко

ИССЛЕДОВАНИЕ ОСНОВНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРОЦЕССА СОВМЕЩЕННОГО МАГНИТНО-ДИНАМИЧЕСКОГО НАКАТЫВАНИЯ

V. K. Sheleh, A. M. Dovgalev, I. A. Taradeiko

A STUDY OF THE MAIN CHARACTERISTICS OF THE PROCESS OF COMBINED MAGNETODYNAMIC ROLLING

Аннотация

В работе представлены результаты исследований жесткости элементов технологической системы при совмещенном магнитно-динамическом накатывании. Показано, что действующее на поверхностный слой ферромагнитных тонкостенных втулок вращающееся магнитное поле обеспечивает повышение их жесткости.

Приведены сведения о величине крутящего момента, создаваемого деформирующими шарами комбинированного инструмента на исследуемых режимах, характеризующего малую энергоемкость процесса совмещенного магнитно-динамического накатывания.

Ключевые слова:

поверхностное упрочнение, комбинированный инструмент, магнитная система, деформирующие шары, цилиндрические постоянные магниты, жесткость, технологическая система, упругие и остаточные деформации, энергоемкость.

Для цитирования:

Шелег, В. К. Исследование основных характеристик процесса совмещенного магнитно-динамического накатывания / В. К. Шелег, А. М. Довгалева, И. А. Тарадейко // Вестник Белорусско-Российского университета. – 2021. – № 3(72). – С. 81–89.

Abstract

The paper presents the results of studies of the rigidity of elements of the technological system during combined magnetodynamic rolling. It is shown that a rotating magnetic field acting on the surface layer of ferromagnetic thin-walled bushings increases their rigidity.

Data on the magnitude of the torque produced by deforming balls of a combined tool in the modes under study are presented, characterizing low energy consumption of the combined magnetodynamic rolling process.

Keywords:

surface hardening, combined tool, magnetic system, deforming balls, cylindrical permanent magnets, rigidity, technological system, elastic and permanent deformations, energy consumption.

For citation:

Sheleh, V. K. A study of the main characteristics of the process of combined magneto-dynamic rolling / V. K. Sheleh, A. M. Dovgalev, I. A. Taradeiko // The Belarusian-Russian university herald. – 2021. – № 3(72). – P. 81–89.

Введение

Выход из строя машин и механизмов связан с износом поверхностей вхо-

дящих в них ответственных деталей. Анализ напряженно-деформированного состояния деталей машин показывает, что основную эксплуатационную на-

грузку воспринимает их поверхностный слой. Это определяет актуальность разработки и применения инновационных и конкурентоспособных технологий поверхностного упрочнения деталей, обеспечивающих повышение их износостойкости и долговечности изготавливаемых технических систем.

В настоящее время создано достаточно большое количество методов поверхностного упрочнения деталей машин, каждый из которых имеет свою область технологического применения. К их числу относятся методы поверхностного пластического деформирования, позволяющие обеспечить упрочнение поверхностного слоя, получить микрорельеф поверхности с рациональной шероховатостью, сформировать благоприятные остаточные напряжения сжатия, повысить усталостную прочность, контактную выносливость и износостойкость упрочненных поверхностей [1, 2].

Важным шагом в развитии технологий поверхностного пластического деформирования явилась разработка метода совмещенного магнитно-динамического накатывания (СМДН), при котором на поверхностный слой ферромагнитной детали одновременно воздействуют вращающимся постоянным или переменным магнитным полем и импульсно-ударным деформированием [3, 4].

Разработанный метод СМДН позволяет получать на ферромагнитных деталях наноструктурированный поверхностный слой, характеризующийся высокими качественными и эксплуатационными свойствами [3, 5].

Для реализации метода СМДН спроектированы комбинированные инструменты, содержащие корпус, кольцевую камеру со свободно установленными в ней деформирующими шарами, магнитную систему, включающую зубчатые магнитопроводы и цилиндрические постоянные магниты из редкозе-

мельных материалов [6, 7].

Магнитная система инструмента предназначена для сообщения деформирующим шарам рабочих колебательных движений (необходимых для осуществления процесса импульсно-ударного деформирования) и упрочняющего магнитного воздействия на поверхностный слой ферромагнитной детали.

При СМДН внутренней поверхности тонкостенных нежестких ферромагнитных тел вращения комбинированный инструмент (вследствие магнитного воздействия на их поверхностный слой) одновременно выполняет функцию магнитной оправки. Так, на тонкостенные ферромагнитные тела вращения в зоне обработки действуют равномерно распределенные по периметру поперечного сечения и радиального направления магнитные силы, повышающие их жесткость и препятствующие возникновению остаточных деформаций.

Однако в настоящее время отсутствуют экспериментальные исследования, подтверждающие повышение жесткости тонкостенных деталей при обработке СМДН, являющихся главным элементом технологической системы. С целью подтверждения данной гипотезы были выполнены экспериментальные исследования жесткости технологической системы при совмещенной упрочняющей обработке.

Исследование жесткости технологической системы при СМДН

Совмещенное магнитно-динамическое накатывание внутренней поверхности ферромагнитных тонкостенных втулок (далее – тонкостенных втулок) осуществляли на вертикально-фрезерном станке мод. ВФ-130.

Схема установки для проведения экспериментальных исследований и ее фотография представлены соответственно на рис. 1 и 2.

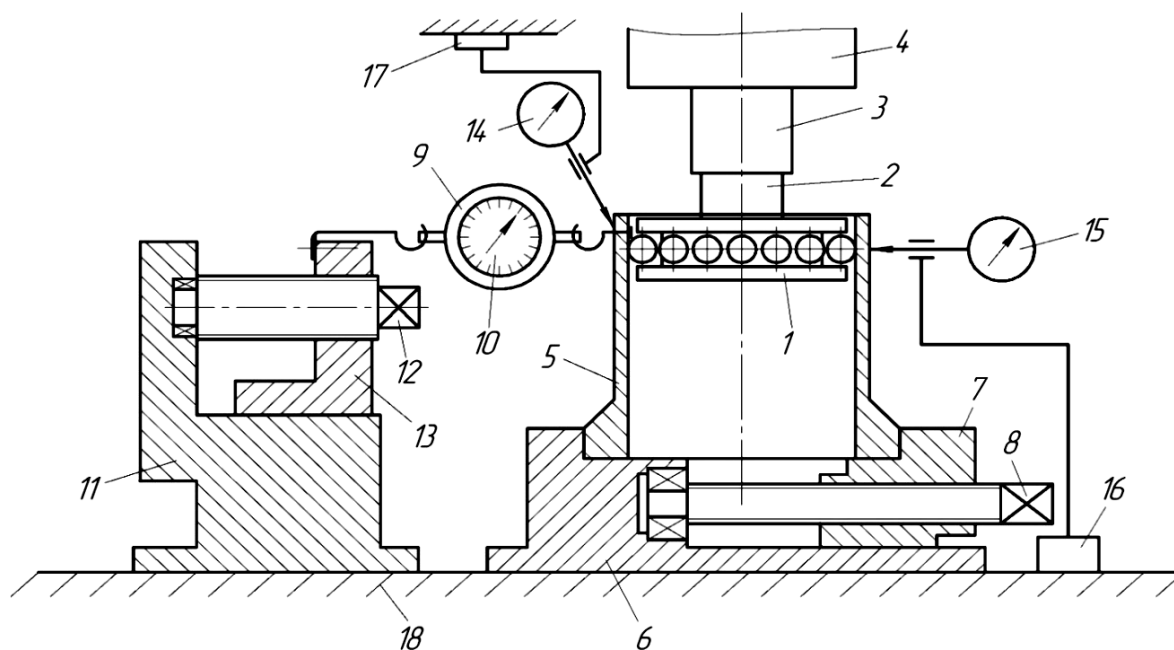


Рис. 1. Схема установки для измерения жесткости технологической системы при СМДН внутренней поверхности тонкостенной втулки

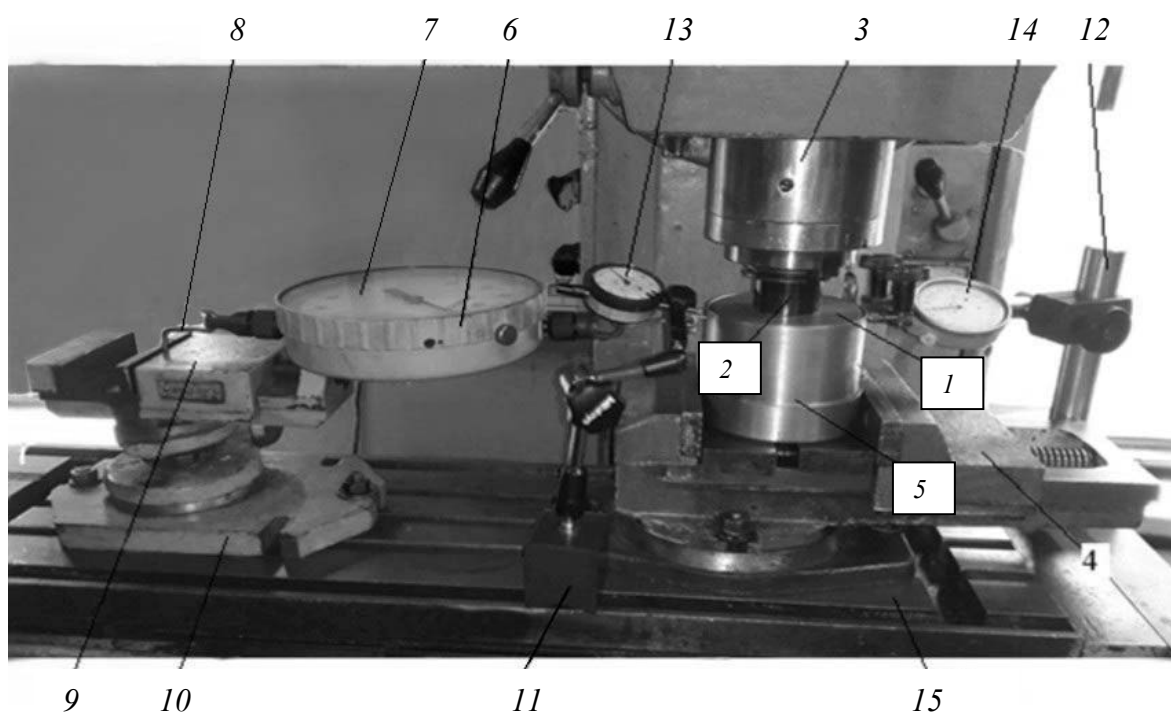


Рис. 2. Установка для измерения жесткости технологической системы при СМДН внутренней поверхности тонкостенной втулки: 1 – комбинированный инструмент; 2 – оправка; 3 – шпиндель; 4 – технологическое приспособление; 5 – ферромагнитная тонкостенная втулка; 6 – динамометр; 7 – индикатор динамометра; 8 – промежуточный элемент; 9 – подвижная губка; 10 – плита устройства нагружения; 11, 12 – магнитная стойка; 13, 14 – индикатор; 15 – стол станка

Характеристика тонкостенной втулки: материал – сталь 45 (180...200 НВ); размеры ($D \times d \times l$) – $115 \times 111 \times 95$ мм.

В ходе эксперимента зазор между цилиндрической поверхностью магнитной системы комбинированного инструмента и внутренней цилиндрической поверхностью тонкостенной втулки составлял 0,8 мм, величина индукции магнитного поля, действующего на внутреннюю поверхность тонкостенной втулки, – 0,250 Тл.

Для нагружения тонкостенной втулки 5 статической силой применяли

динамометр механический ДПУ-1-2 с ценой деления 10 Н.

Жесткость технологической системы определяли для двух исследуемых случаев: при магнитном воздействии на внутреннюю поверхность тонкостенной втулки вращающимся магнитным полем со стороны инструмента и при отсутствии магнитного воздействия на поверхностный слой упомянутой втулки.

Результаты экспериментальных исследований жесткости технологической системы при СМДН представлены на рис. 3 и 4.

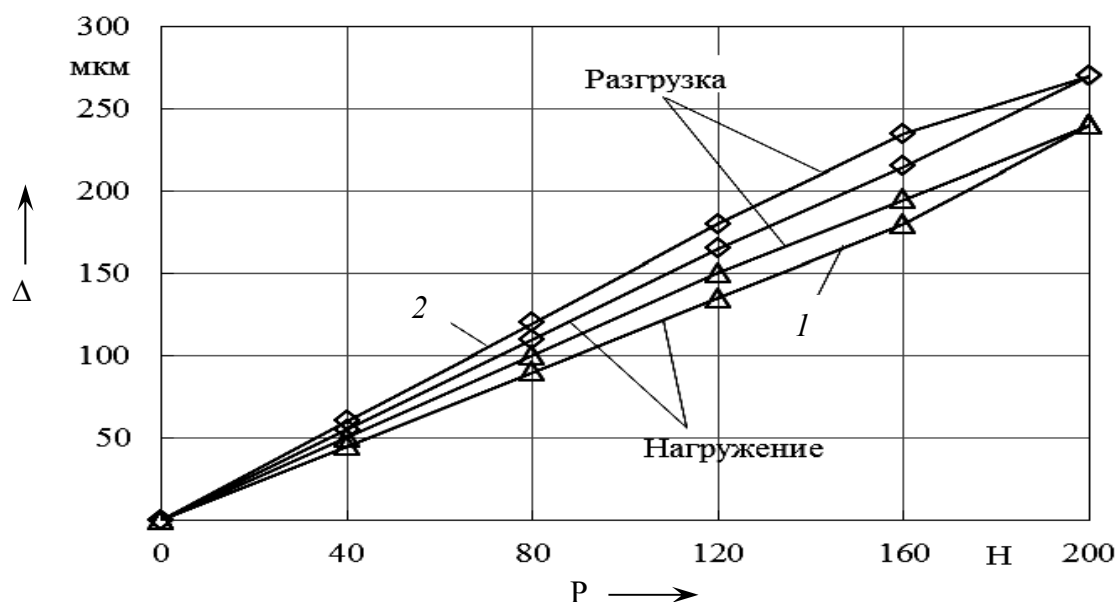


Рис. 3. Зависимость локальной упругой деформации тонкостенной втулки, измеряемой в зоне ее нагружения, от величины действующей статической силы (при нагружении и разгрузке): 1 – с магнитным воздействием со стороны инструмента; 2 – без магнитного воздействия

Анализ экспериментальных зависимостей, представленных на рис. 3 и 4, показал, что СМДН позволяет повысить локальную жесткость стальных тонкостенных втулок (а следовательно и технологической системы в целом) в 1,2–1,5 раза.

Повышение жесткости тонкостенных втулок при СМДН объясняется созданием действующим вращающимся магнитным полем в их поверхностном слое радиально направленных и равно-

мерно распределенных магнитных сил, препятствующих возникновению упругих и остаточных деформаций.

В связи с выявленным преимуществом метод СМДН рекомендуется для отделочно-упрочняющей обработки нежестких ферромагнитных тел вращения с целью уменьшения их остаточных деформаций под действием ударных сил деформирования и повышения геометрической точности обработки.

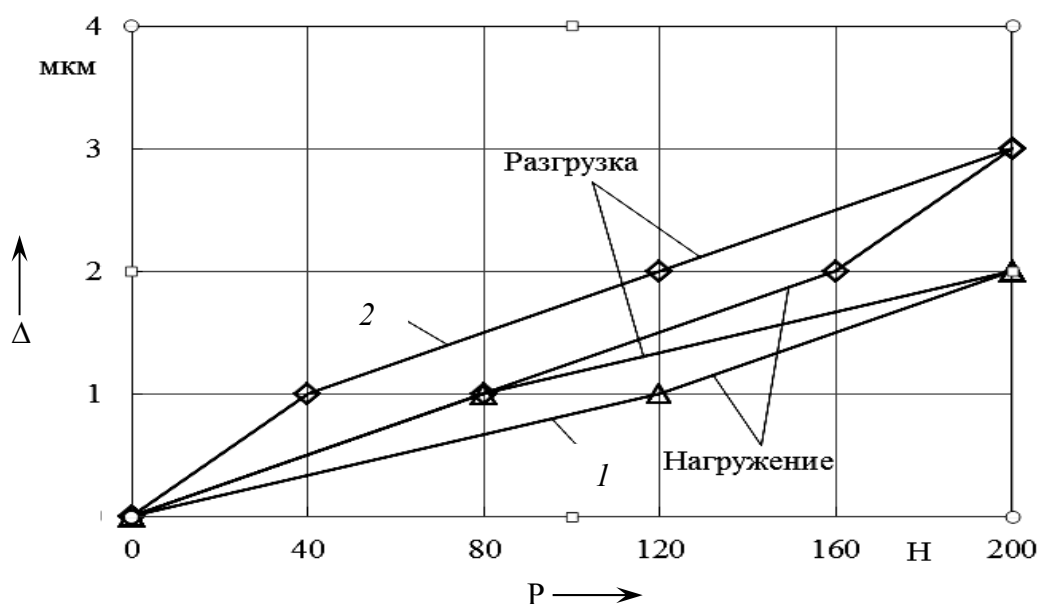


Рис. 4. Зависимость локальной упругой деформации тонкостенной втулки, измеряемой с диаметрально противоположной стороны от зоны ее нагружения, от величины действующей статической силы (при нагружении и разгрузке): 1 – с магнитным воздействием со стороны инструмента; 2 – без магнитного воздействия

Определение крутящего момента, создаваемого деформирующими шарами инструмента при СМДН

Одним из важнейших параметров, определяющих энергетические характеристики процесса СМДН, является момент, создаваемый деформирующими шарами комбинированного инструмента.

Для экспериментального определения момента, создаваемого деформирующими шарами комбинированного инструмента при СМДН, спроектировано специальное устройство, представленное на рис. 5.

В состав устройства входят: основание 1; цилиндр 2; подшипниковые опоры 3, 4; кондуктор 5; упрочняемое ферромагнитное кольцо 6; инструмент, содержащий оправку 7, кольцевую камеру 8, магнитные системы 9, 10, деформирующие шары 11; планку 12; динамометр, включающий корпус 13, плунжер 14, сферическую опору 15, пружину 16, индикатор часового типа 17.

Предварительно осуществляли тарирование пружины 16 динамометра нагружением известными по величине

силами. При этом динамометр располагали вертикально, устанавливали на плунжер 14 груз соответствующего веса и контролировали при этом степень сжатия пружины 16 индикатором 17.

Ферромагнитное кольцо 6 устанавливали на торец цилиндра 2 и прижимали сверху кондуктором 5. Ось оправки 7 инструмента совмещали с вертикальной осью цилиндра 2. Инструмент вводили в отверстие ферромагнитного кольца 6.

При реализации процесса СМДН применяли комбинированный инструмент, представленный в [4].

Момент $M_{\text{деф}}$, создаваемый деформирующими шарами инструмента при осуществлении процесса СМДН, рассчитывали по известной зависимости:

$$M_{\text{деф}} = P \cdot \ell,$$

где P – сила нагружения динамометра со стороны планки 12, закрепленной на цилиндре 2; ℓ – расстояние от вертикальной оси устройства до продольной оси динамометра, $\ell = 0,129$ м.

Силу P нагружения динамометра

при различных частотах вращения инструмента определяли экспериментально по показаниям индикатора 17.

На рис. 6 представлено устройство

для определения момента, создаваемого деформирующими шарами комбинированного инструмента при СМДН.

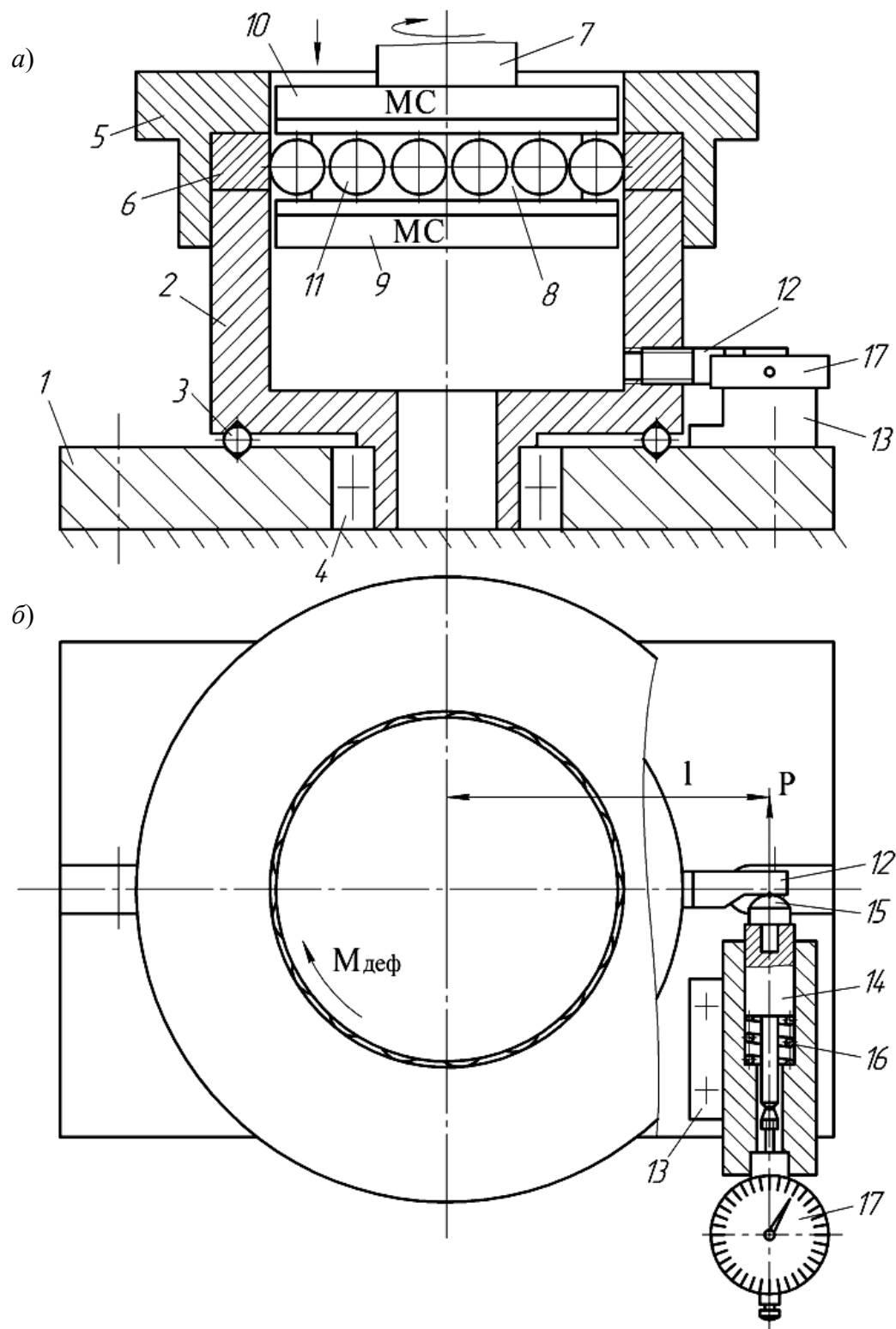


Рис. 5. Конструкция устройства для определения момента, создаваемого деформирующими шарами комбинированного инструмента при СМДН: а – разрез общего вида; б – вид сверху

Результаты экспериментальных исследований представлены в табл. 1 и на рис. 7.

Как показали экспериментальные исследования, при СМДН внутренних цилиндрических поверхностей ферромагнитных тел вращения на исследуемых режимах момент, создаваемый деформирующими шарами комбинированного инструмента, не превышает 1,1 Н·м, что указывает на малую энергоёмкость разработанного метода совмещенного упрочнения.

Заключение

Установлено, что при совмещенном магнитно-динамическом накатыва-

нии имеет место повышение жесткости стальных тонкостенных втулок в 1,2–1,5 раза вследствие действия на их поверхностный слой вращающегося магнитного поля и создания равномерно распределенных в поперечном сечении и радиально направленных магнитных сил, препятствующих возникновению упругих и остаточных деформаций.

Выявлено, что в процессе СМДН внутренних цилиндрических поверхностей нежестких ферромагнитных деталей на исследуемых режимах крутящий момент, создаваемый деформирующими шарами инструмента, не превышает 1,1 Н·м, что указывает на малую энергоёмкость процесса совмещенного упрочнения.

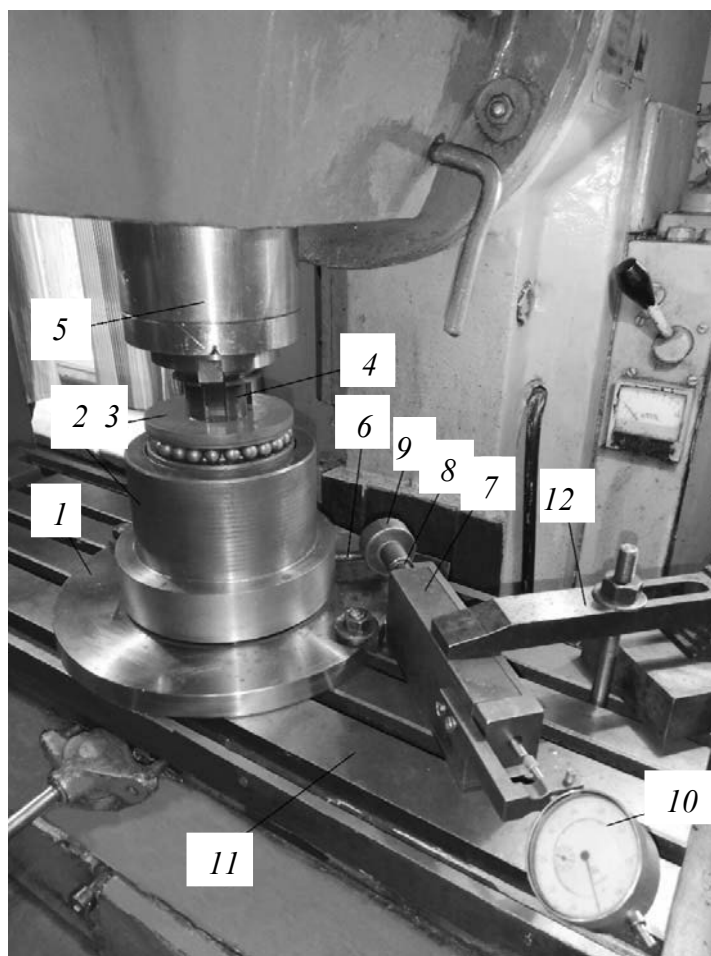


Рис. 6. Устройство для определения момента, создаваемого деформирующими шарами комбинированного инструмента при СМДН: 1 – основание; 2 – ферромагнитный цилиндр; 3 – инструмент; 4 – оправка; 5 – шпиндель; 6 – планка; 7 – корпус динамометра; 8 – плунжер; 9 – сферическая опора; 10 – индикатор; 11 – стол станка; 12 – элементы крепления корпуса динамометра

Табл. 1. Результаты экспериментальных исследований момента, создаваемого деформирующими шарами при осуществлении процесса СМДН

Номер исследования	Частота вращения инструмента, мин ⁻¹	Подача инструмента, мм/мин	Сила нагружения динамометра, Н	Момент, создаваемый деформирующими шарами инструмента, Н·м
1	1120	20	2,3	0,3
2	1600	20	3,9	0,5
3	2240	20	7,0	0,9
4	3150	20	8,5	1,1

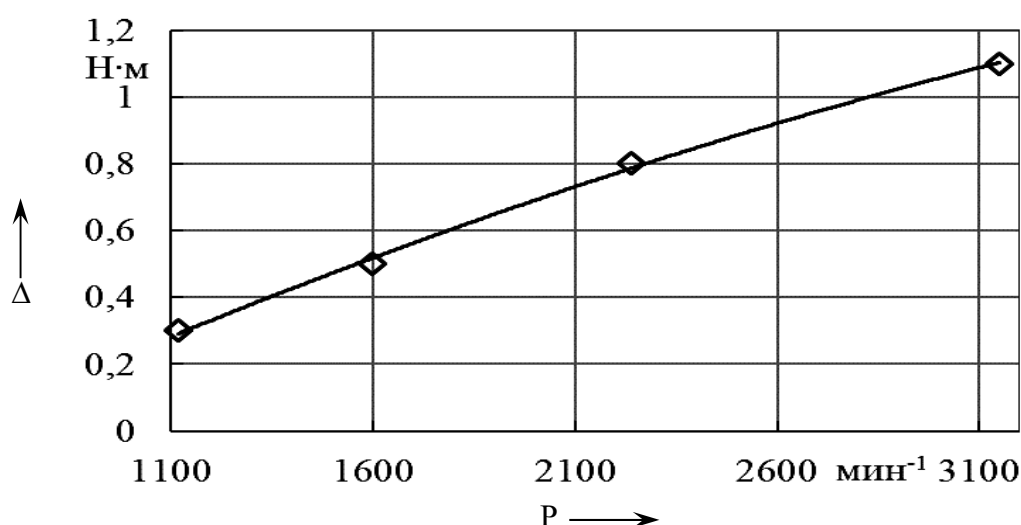


Рис. 7. Зависимость момента, создаваемого деформирующими шарами от частоты вращения инструмента: S = 20 мм/мин; B = 0,25 Тл; d = 12 мм

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Технология и инструменты для отделочно-упрочняющей обработки деталей поверхностным пластическим деформированием: справочник в 2 т. / Под общ. ред. А. Г. Суслова. – Москва: Машиностроение, 2014. – Т. 1. – 480 с.
2. Технология и инструменты для отделочно-упрочняющей обработки деталей поверхностным пластическим деформированием: справочник в 2 т. / Под общ. ред. А. Г. Суслова. – Москва: Машиностроение, 2014. – Т. 2. – 444 с.
3. Довгалец, А. М. Магнитно-динамическое и совмещенное накатывание поверхностей нежестких деталей / А. М. Довгалец. – Могилев: Белорус.-Рос. ун-т, 2017. – 266 с.
4. Довгалец, А. М. Повышение эффективности упрочнения поверхностей ферромагнитных деталей совмещенным магнитно-динамическим накатыванием / А. М. Довгалец // Обработка металлов (Технология, оборудование, инструменты). – 2018. – Т. 20, № 3. – С. 18–35.
5. Шелег, В. К. Исследование триботехнических свойств поверхностей деталей, упрочненных совмещенным магнитно-динамическим накатыванием / В. К. Шелег, А. М. Довгалец // Актуальные вопросы машиноведения. – 2018. – Т. 7. – С. 330–334.
6. Довгалец, А. М. Прогрессивные конструкции инструментов для совмещенного магнитно-динамического накатывания цилиндрических поверхностей / А. М. Довгалец, И. А. Тарадейко, Н. А. Леванович // Вестн. Полоц. гос. ун-та. – 2018. – № 3. – С. 47–53.

7. **Довгалеv, А. М.** Разработка магнитных систем комбинированных инструментов для совмещенного магнитно-динамического накатывания / А. М. Довгалеv // Вестн. Белорус.-Рос. ун-та. – 2018. – № 1. – С. 15–26.

Статья сдана в редакцию 24 мая 2021 года

Валерий Константинович Шелег, д-р техн. наук, проф., чл.-кор. НАН Беларуси, Белорусский национальный технический университет. E-mail: sheleh_v@tut.by.

Александр Михайлович Довгалеv, канд. техн. наук, доц., Белорусско-Российский университет. Тел.: +375-29-345-40-56. E-mail: rct@bru.by.

Иван Анатольевич Тарадейко, ассистент, Белорусско-Российский университет. Тел.: +375-33-659-38-68. E-mail: IvanTaradeiko@yandex.ru.

Valery Konstantinovich Sheleg, DSc (Engineering), Prof., Corresponding Member of NSA Republic of Belarus, Belarusian National Technical University. E-mail: sheleh_v@tut.by.

Alexander Mikhailovich Dovgalev, PhD (Engineering), Associate Prof., Belarusian-Russian University. Tel.: +375-29-345-40-56. E-mail: rct@bru.by.

Ivan Anatolievich Taradeiko, assistant lecturer, Belarusian-Russian University. Tel.: +375-33-659-38-68. E-mail: IvanTaradeiko@yandex.ru.