

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ
№ 2843023

СПОСОБ МАГНИТНО-АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКИ БРОНЗОВЫХ ВКЛАДЫШЕЙ ПОДШИПНИКОВ СКОЛЬЖЕНИЯ

Патентообладатель: *Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
"Санкт-Петербургский горный университет
императрицы Екатерины II" (RU)*

Авторы: *Максаров Вячеслав Викторович (RU), Куфаев
Владислав Геннадьевич (RU)*

Заявка № 2024129881

Приоритет изобретения 04 октября 2024 г.

Дата государственной регистрации
в Государственном реестре изобретений

Российской Федерации 07 июля 2025 г.

Срок действия исключительного права
на изобретение истекает 04 октября 2044 г.

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Ю.С. Зубов





ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК

B24B 31/112 (2025.01)

(21)(22) Заявка: 2024129881, 04.10.2024

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
04.10.2024

Дата регистрации:
07.07.2025

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 04.10.2024

(45) Опубликовано: 07.07.2025 Бюл. № 19

Адрес для переписки:

199106, Санкт-Петербург, В.О., 21 линия, 2,
ФГБОУ ВО "Санкт-Петербургский горный
университет императрицы Екатерины II",
Патентно-лицензионный отдел

(72) Автор(ы):

Максаров Вячеслав Викторович (RU),
Куфаев Владислав Геннадьевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
образования "Санкт-Петербургский горный
университет императрицы Екатерины II"
(RU)

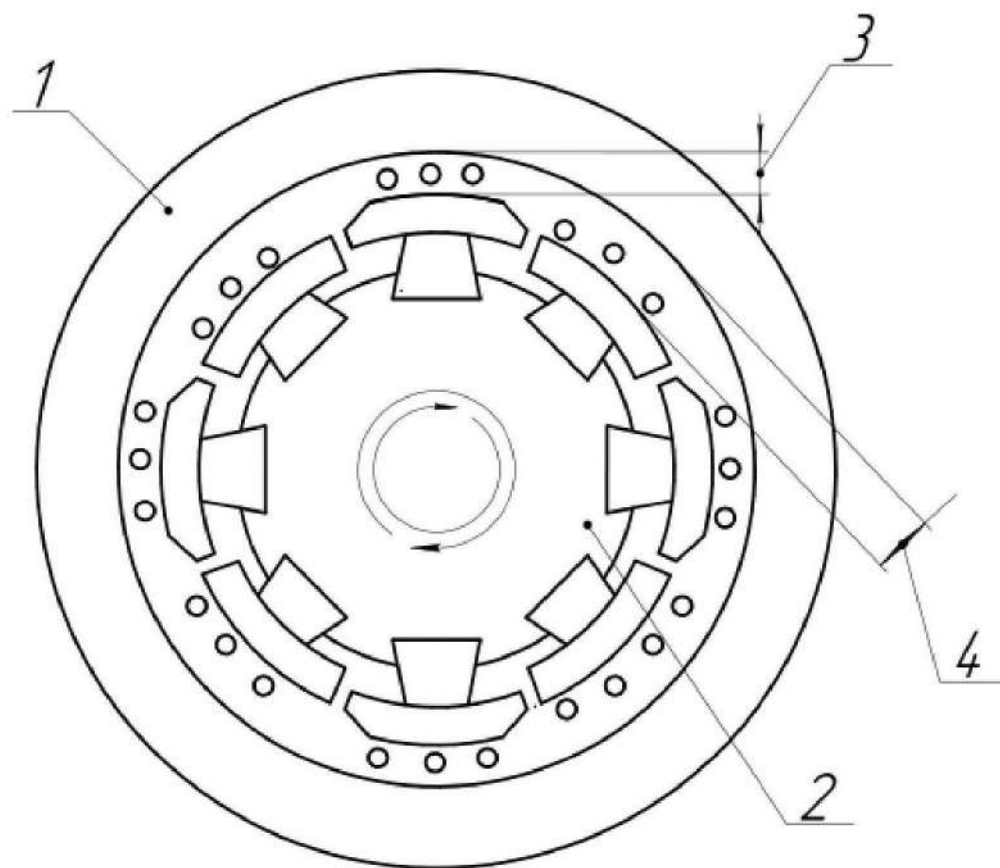
(56) Список документов, цитированных в отчете
о поиске: SU 1773696 A1, 07.11.1992. Куфаев
В.Г. Способ магнитно-абразивной обработки
поверхностей бронзовых вкладышей
подшипников скольжения. Механика и
машиностроение. Наука и практика.
Материалы международной научно-
практической конференции. Санкт-Петербург,
09 декабря 2022, Том 5. Технология
машиностроения. с.55-58. SU 1585124 A1,
15.08.1990. SU (см. прод.)

(54) СПОСОБ МАГНИТНО-АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКИ БРОНЗОВЫХ ВКЛАДЫШЕЙ
ПОДШИПНИКОВ СКОЛЬЖЕНИЯ

(57) Реферат:

Изобретение относится к магнитно-абразивной обработке машиностроительных изделий, в частности к обработке внутренних поверхностей бронзовых вкладышей подшипников скольжения. Способ включает введение в зону обработки магнитопроводной оправки с концентраторами магнитного поля и предварительно нанесённой на них абразивной массой. В качестве концентраторов магнитного поля используют установленные посредством соединения «ласточкин хвост» на цилиндрическую основу магнитопроводящей оправки подложки с постоянными магнитами. На первом этапе обработки производят черновую обработку постоянными магнитами, которые закрепляют относительно обрабатываемой поверхности с

зазором в диапазоне от 1 до 2,5 мм, а на втором этапе - чистовую обработку детали постоянными магнитами, которые закрепляют относительно обрабатываемой поверхности детали с зазором в диапазоне от 3 до 4,5 мм. Оправке сообщают вращательное движение и колебательное движение вверх-вниз, обеспечивающие чередование подложек с магнитами, имеющими разные зазоры с обрабатываемой поверхностью, и формирование на обрабатываемой поверхности сетки маслоудерживающих рисок под углом от 45° до 60° относительно друг друга. В результате обеспечивается уменьшение шероховатости и увеличение микротвердости заготовки. 7 ил., 2 табл.



Фиг. 1

(56) (продолжение):
1627383 A1, 15.02.1991. US 6960118 B2, 01.11.2005.



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(52) CPC
B24B 31/112 (2025.01)

(21)(22) Application: **2024129881, 04.10.2024**

(24) Effective date for property rights:
04.10.2024

Registration date:
07.07.2025

Priority:

(22) Date of filing: **04.10.2024**

(45) Date of publication: **07.07.2025** Bull. № 19

Mail address:

**199106, Sankt-Peterburg, V.O., 21 liniya, 2, FGBOU
VO "Sankt-Peterburgskij gornyj universitet
imperatritsy Ekateriny II", Patentno-litsenzionnyj
otdel**

(72) Inventor(s):

**Maksarov Viacheslav Viktorovich (RU),
KufaeV Vladislav Gennadevich (RU)**

(73) Proprietor(s):

**federalnoe gosudarstvennoe biudzhethnoe
obrazovatelnoe uchrezhdenie vysshego
obrazovaniia «Sankt-Peterburgskii gornyi
universitet imperatritsy Ekateriny II» (RU)**

(54) **METHOD OF MAGNETIC-ABRASIVE TREATMENT OF BRONZE BUSHINGS OF SLIDING BEARINGS**

(57) Abstract:

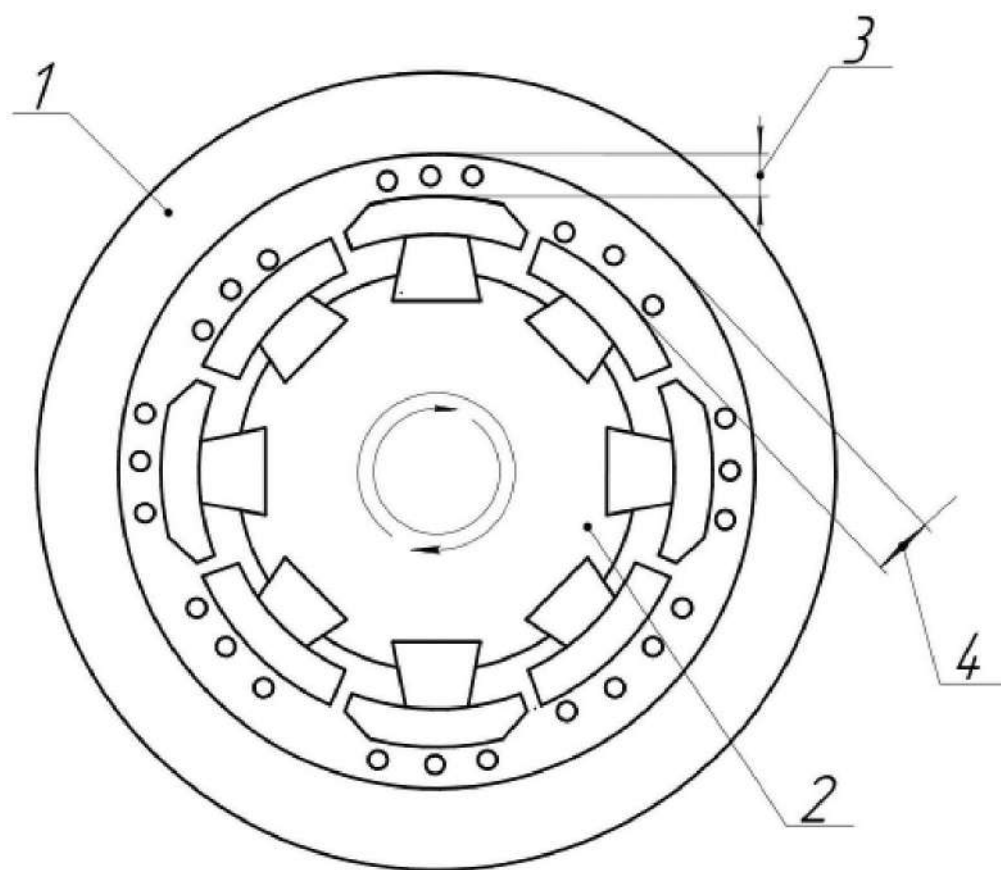
FIELD: performing operations.

SUBSTANCE: invention relates to magnetic-abrasive processing of mechanical engineering articles, in particular, to processing of inner surfaces of bronze inserts of friction bearings. Proposed method comprises feeding magnetically conducting mandrel with magnetic field concentrators and abrasive mass pre-applied thereon. Magnetic field concentrators used are substrates with permanent magnets mounted on a cylindrical base of a magnetically conductive mandrel by means of a dovetail joint. At the first processing stage, roughing is carried out with permanent magnets, which are fixed

relative to the processed surface with a gap in range from 1 to 2.5 mm, at second step, part is finished by permanent magnets secured relative to part machined surface with clearance varying from 3 to 4.5 mm. Mandrel is revolved and oscillated up and down to alternate substrates with magnets that have different clearances with machined surface and to form net of oil-retaining marks at 45° up to 60° relative to each other on the machined surface.

EFFECT: reduced roughness and increased microhardness of workpiece.

1 cl, 7 dwg, 2 tbl



Фиг. 1

Изобретение относится к магнитно-абразивной обработке машиностроительных изделий, в частности к обработке внутренних поверхностей вкладышей подшипников скольжения, изготовленных из бронзы.

Известен способ магнитно-абразивной обработки отверстий в немагнитных, преимущественно латунных, деталях (Барон Ю.М. Магнитно-абразивная и магнитная обработка изделий и режущих инструментов. - Л.: Машиностроение, 1986., стр. 119), заключающийся в размещении внутри отверстия системы полюсов и катушек и введении между ними и стенками отверстия абразивного порошка.

Недостаток данного способа заключается в том, что размеры обрабатываемого отверстия должны быть достаточно велики, чтобы обеспечить размещение всей обрабатывающей системы. Кроме того, катушки следует защитить от воздействия СОЖ и механических повреждений.

Известен способ магнитно-абразивной обработки отверстий (Авторское свидетельство СССР № 347142, опубл. 08.10. 1972 г.), заключающийся в размещении обрабатываемой заготовки между полюсами электромагнитов таким образом, что они полностью охватывают заготовку. Внутри обрабатываемого отверстия вводится полюс противоположной полярности, что обеспечивает намагничиваемость и прижим абразивного порошка к обрабатываемой поверхности. Деталь и полюс внутри совершают относительное движение, что и обеспечивает обработку.

Недостаток данного способа заключается в необходимости изготовления большого количества электромагнитов для полного охвата заготовки, а также в невысокой эффективности при обработке немагнитных материалов.

Известен способ магнитно-абразивной обработки цилиндрических отверстий (Авторское свидетельство СССР № 1255403, опубл. 07.09.1986 г.), заключающийся в размещении полой цилиндрической детали между двумя одноимёнными полюсами. Внутри отверстия детали размещается полюс противоположной полярности, установленный относительно стенок детали с разными технологическими зазорами, в которые подаётся обрабатывающий порошок. Затем на наконечники подаётся ток, при этом полюсу, размещённому внутри детали, может подаваться движение осцилляции, как и самой детали.

Недостаток данного способа заключается в том, что при обработке заготовок из немагнитных материалов, эффективность процесса резания будет снижаться ввиду сопротивления, создаваемого стенками заготовки - это будет препятствовать созданию больших значений магнитной индукции.

Известен способ магнитно-абразивной обработки поверхностей труб из немагнитных материалов (Авторское свидетельство СССР № 1627383, опубл. 15.02.1991 г.), который заключается в установке обрабатываемого изделия в форме трубы в зоне действия полюсного наконечника, выполненного в виде сектора. После этого внутрь изделия помещается порция магнитного порошка, наконечнику задаётся вращение вокруг его оси, а изделию - вращательное и поступательное движение в направлении, перпендикулярном плоскости вращения наконечника. На первом этапе обработки направление вращения изделия противоположно направлению вращения наконечника, так что вращение порошка внутри изделия обеспечивает первичную черновую обработку. По мере прохождения изделия вдоль оси, его направление вращения меняется на противоположное, что также приводит к изменению направления вращения порошка. После этого производится чистовая обработка поверхности.

Недостаток данного способа заключается в необходимости использования полюсного наконечника особой конструкции, что требует его предварительной обработки.

Известен способ магнитно-абразивной обработки внутренних поверхностей деталей, изготовленных из немагнитных материалов (Авторское свидетельство СССР № 1773696, опубл. 11.07.1992 г.), принятый за прототип, при использовании которого деталь типа «втулка» устанавливается в трёхкулачковом патроне станка и вводится в межполюсное пространство. В отверстие детали вводится магнитопроводящая оправка, после чего в зазор между оправкой и внутренней поверхностью детали подаётся обрабатывающий порошок. Затем, после подачи на полюса постоянного тока, детали сообщается вращательное движение, оправке - вращательное и осевое. Под действием магнитного поля порошок уплотняется и притягивается к выступам оправки, оказывая давление на обрабатываемую поверхность.

Недостаток данного способа заключается в том, что давление, оказываемое системой через порошок на обрабатываемую поверхность, может привести к образованию на ней деформаций и дефектов.

Техническим результатом является уменьшение шероховатости и увеличение микротвёрдости заготовки.

Технический результат достигается тем, что в качестве концентраторов магнитного поля используют установленные посредством соединения «ласточкин хвост» на цилиндрическую основу магнитопроводящей оправки подложки с постоянными магнитами, количество которых выбирают чётным в зависимости от диаметра обрабатываемой поверхности, при этом на первом этапе обработки производят черновую обработку постоянными магнитами, которые закрепляют относительно обрабатываемой поверхности с зазором в диапазоне от 1 до 2,5 мм, а на втором этапе - чистовую обработку детали постоянными магнитами, которые закрепляют относительно обрабатываемой поверхности детали с зазором в диапазоне от 3 до 4,5 мм, при этом оправке сообщают вращательное движение и колебательное движение вверх-вниз, обеспечивающие чередование подложек с магнитами, имеющими разные зазоры с обрабатываемой поверхностью, и формирование на обрабатываемой поверхности сетки маслоудерживающих рисок под углом от 45° до 60° друг относительно друга, при этом на первом этапе обработки производят прохождение оправки вдоль обрабатываемой поверхности и её вращение по часовой стрелке с обеспечением перемещения абразивной массы по поверхности оправки в направлении, противоположном её вращению, а на втором этапе обработки осуществляют выход оправки из обрабатываемой детали и её вращение против часовой стрелки, обеспечивающее перемещение абразивной массы по поверхности оправки также в противоположном её вращению направлении.

Способ магнитно-абразивной обработки поясняется следующими фигурами:

фиг. 1 - схема обработки бронзового вкладыша подшипника скольжения с использованием индуктора на постоянных магнитах вид снизу;

фиг. 2 - схема обработки бронзового вкладыша подшипника скольжения с использованием индуктора на постоянных магнитах вид сбоку;

фиг. 3 - развёртка фрагмента участка поверхности вкладыша подшипника скольжения с нанесённой сеткой маслоудерживающих рисок;

фиг. 4 - профилограмма исходной поверхности;

фиг. 5 - профилограмма обработанной поверхности после проведения МАО;

фиг. 6 - фотография поверхности заготовки до МАО;

фиг. 7 - фотография поверхности заготовки после проведения МАО.

1 - обрабатываемая заготовка;

2 - магнитопроводящая оправка;

3 - зазор на черновую обработку;

4 - зазор на чистовую обработку;

5 - маслоудерживающие риски, формируемые при заходе оправки в заготовку;

6 - маслоудерживающие риски, формируемые при выходе оправки из заготовки.

7 - угол между маслоудерживающими рисками разных направлений.

Способ осуществляется следующим образом. Обрабатываемая заготовка 1 (фиг. 1, 2) закрепляется в зажимном приспособлении на столе вертикально-фрезерного станка. На цилиндрическую основу магнитопроводящей оправки 2 посредством соединения «ласточкин хвост» производится закрепление подложек с постоянными магнитами, выполняющими роль концентраторов магнитного поля, количество которых должно быть чётным и может меняться в зависимости от диаметра обрабатываемого отверстия, при этом те из них, что расположены на линии центра, крепятся относительно обрабатываемой поверхности с зазором на черновую обработку 3, выбранным из диапазона от 1 до 2,5 мм, что соответствует черновой обработке, а магниты, расположенные между ними - с зазором на чистовую обработку 4 из диапазона от 3 до 4,5 мм, характеризующим чистовую обработку поверхности. После этого на оправку наносится абразивная масса.

Оправке сообщается вращательное движение V_B , которое обеспечивает чередование подложек с магнитами, имеющими разные зазоры с обрабатываемой поверхностью, а также колебательное движение вверх-вниз V_O . Сочетание данных движений обеспечивает формирование на обрабатываемой поверхности сетки маслоудерживающих рисков одного направления, расположенных под определённым углом γ друг относительно друга (фиг. 3). Согласно условиям эффективной работы вкладышей подшипников скольжения, угол γ должен принимать значения от 45° до 60° . Это гарантирует наилучшее удержание масла в зоне трения. Данное значение угла обеспечивается из условия сочетания движений вращения оправки и её колебательного движения вверх-вниз, приведённых к одной системе измерения и соотносящихся следующим образом:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{v_B}{v_O}.$$

В ходе первой стадии обработки оправка проходит вдоль обрабатываемого отверстия и вращается по часовой стрелке, что обеспечивает перемещение абразивной массы по её поверхности в направлении, противоположном её вращению. Вторая стадия обработки осуществляется с выходом оправки из обрабатываемого отверстия и её вращении против часовой стрелки. Это также способствует перемещению абразивной массы по поверхности оправки в направлении, противоположном её вращению. Обрабатываемая поверхность окончательно зачищается, и на неё наносятся маслоудерживающие риски.

Способ поясняется следующими примерами.

Имеющиеся заготовки длиной 200 мм, изготовленные из бронзы марки БрАЖ-9-4, необходимо обработать до достижения шероховатости $Ra = 0,8$ мкм, микротвёрдости и сформировать на их поверхности сетку маслоудерживающих рисков.

Постоянными условиями обработки являлись: значение индукции $B = 1,2$ Тл, значение подачи $S = 12000$ мм/мин, значение скорости вращения заготовки 220 мин^{-1} , абразивный материал марки ПР-10Р6М5 «Д» с зернистостью от 80 до 140 мкм и СОЖ марки X-COOL PLUS 46.

Подставляя в ранее приведённую формулу выбранные значения скорости вращения и колебания, приведённые к единой системе измерений и переведённые в м/с, можно

получить следующий результат:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{0,346}{0,2} = 1,73$$

Полученное значение тангенса угла наклона удовлетворяет поставленному ранее условию, поскольку соответствует углу 60° и, соответственно, входит в диапазон от 45° до 60° .

Заготовки были разделены на три зоны: правую - П, центральную - Ц, левую - Л.

Перед первой стадией обработки были проведены измерения шероховатости участков заготовок по четырём параметрам: Ra, Rk, Rpk, Rvk, которые оказывают существенное влияние на функциональные свойства поверхностей, а также параметра микротвёрдости по методу Бринеля. Результаты измерений сведены в таблицу 1.

Таблица 1 - Значения параметров шероховатости и микротвёрдости участков заготовок до обработки

Обозначение участков заготовок	Контролируемые параметры				
	Ra, мкм	Rk, мкм	Rpk, мкм	Rvk, мкм	Hv, кгс/мм ²
«первая П»	1,636	3,720	0,698	3,844	192
«первая Ц»	0,562	1,802	0,630	0,932	221
«первая Л»	0,732	2,181	0,755	1,352	229
«вторая П»	1,649	3,945	1,736	3,619	194
«вторая Ц»	1,481	3,830	0,477	2,458	240
«вторая Л»	1,041	2,797	1,000	2,764	191
«третья П»	3,156	10,645	3,494	2,406	238
«третья Ц»	3,276	11,709	0,845	1,195	238
«третья Л»	1,945	4,660	1,261	4,101	198
«четвёртая П»	1,877	3,890	1,184	4,570	229
«четвёртая Ц»	1,063	2,996	0,660	2,021	211
«четвёртая Л»	1,889	4,465	0,830	3,550	207

По результатам измерений, представленных в таблице 1, установлено, что значения шероховатости участков поверхностей заготовок по параметру Ra лежали в диапазоне от 0,562 до 3,276 мкм, для параметра Rk значения находились в диапазоне от 1,802 мкм до 11,709 мкм, для параметра Rpk - от 0,477 мкм до 3,494 мкм, для параметра Rvk - от 0,932 мкм до 4,570 мкм. Таким образом, параметр шероховатости Rpk колебался для всех заготовок в наименьшей степени, Rk - в наибольшей. При этом первая заготовка отличалась наилучшей шероховатостью поверхности. Третья заготовка, напротив, имела наихудшую шероховатость поверхности по всем параметрам (фиг. 4).

Значения микротвёрдости для заготовок изменялись от 191 кгс/мм² до 240 кгс/мм². При этом вторая заготовка имела наивысшую среднюю твёрдость участков, которая составила 224 кгс/мм², третья - наименьшую - 208 кгс/мм², о чём свидетельствует наибольший диаметр отпечатка после измерения микротвёрдости (фиг. 5).

На первом этапе обработки, состоявшем из 12 экспериментов, производилась черновая обработка заготовок с расстоянием между заготовкой и полюсами δ от 1 до 2,5 мм и временем обработки от 4 до 6 мин.

Режимные параметры работы экспериментальной установки и результаты измерения параметров шероховатости и микротвёрдости по результатам первого этапа экспериментов сведены в таблицу 2.

Для первой серии опытов был назначен технологический зазор 1 мм. Проводилась обработка зон «первая Л», «вторая Л» и «третья Л». Было отмечено среднее снижение шероховатости в 1,3 раза и повышение микротвёрдости на несколько единиц. Показатели

шероховатости R_k , R_{pk} , R_{vk} также снизились, при этом параметр R_{pk} снизился в наибольшей степени и для трёх обработанных участков было отмечено снижение в среднем в 1,9 раз.

Для второй серии опытов реализовывался зазор 1,5 мм и велась обработка зон «четвёртая Л», «четвёртая Ц», «третья Ц». Наблюдалось снижение шероховатости и повышение микротвёрдости приблизительно того же порядка, а для участка «третья Ц» шероховатость снизилась по параметру R_a более, чем в 2 раза. Но для параметров R_k , R_{pk} , R_{vk} не удалось добиться такой же эффективности обработки. Для всех трёх зон параметр R_{pk} или R_{vk} незначительно возрастал. Но параметр R_k во всех опытах снижался, при этом для зоны «третья Ц» он снизился более чем в 2,5 раза.

Для третьей серии опытов реализовывался зазор 2 мм и проводилась обработка зон «вторая Ц», «первая Ц» и «первая П». Для участков «вторая Ц» и «первая П» было отмечено снижение шероховатости в 2 и в 4 раза соответственно. В то же время для участка «первая П» микротвёрдость увеличилась на 9 единиц. Показатели R_k , R_{pk} , R_{vk} также снижались во всех случаях. Для участка «вторая Ц» это снижение было наиболее заметным - все три параметра снизились приблизительно в 1,7 раз.

Для четвёртой серии опытов был реализован зазор 2,5 мм и обработка зон «вторая П», «третья П», «четвёртая П». Ввиду низкого качества поверхности до обработки значения шероховатости для первых двух участков были наивысшими для всех опытов, но тем не менее, шероховатость снизилась в 1,3 раза по сравнению с исходными значениями. Для зоны «четвёртая П» было отмечено снижение шероховатости более чем в 3 раза. Это же относится к параметрам шероховатости R_k , R_{pk} , R_{vk} . Для этого участка они снизились в среднем в 3 раза.

По результатам первого этапа экспериментов установлено, что диапазон разброса значений шероховатости по параметру R_a сузился и значения находились в диапазоне от 2,326 мкм до 0,406 мкм, для параметра R_k сужение было наиболее значительным - новые значения шероховатости лежали в диапазон от 5,432 мкм до 1,196 мкм, для параметра R_{pk} - от 0,290 мкм до 1,669 мкм, для параметра R_{vk} - от 0,838 мкм до 4,262 мкм. Сужение диапазона значений для этого параметра было наименее существенным. Новые значения микротвёрдости лежали в диапазоне от 195 кгс/мм² до 243 кгс/мм². Средние значения твёрдости для всех участков заготовок также повысились.

Второй этап обработки также составил 12 экспериментов.

Режимные параметры работы экспериментальной установки и результаты измерения параметров шероховатости и микротвёрдости по результатам второго этапа экспериментов также сведены в таблицу 2.

В первой серии опытов производилась обработка зон «первая Л», «вторая Л», «третья Л» с зазором между заготовкой и полюсами 3 мм и временем обработки участков 1, 2 и 3 мин соответственно. Было отмечено незначительное увеличение шероховатости у участка «первая Л» по всем четырём параметрам по сравнению с предыдущим этапом обработки, а также возрастание микротвёрдости на 5 единиц. Для участков «вторая Л» и «третья Л» шероховатость напротив снизилась по параметру R_a . Параметры R_k и R_{pk} незначительно снизились, параметр R_{vk} остался практически неизменным.

Во второй серии опытов производилась обработка участков «четвёртая Л», «четвёртая Ц», «третья Ц» с зазором 3,5 мм и тем же временем обработки для каждого участка. Не наблюдалось заметных изменений шероховатости по параметру R_a . Параметр R_{pk} для всех трёх участков изменялся в меньшую сторону наиболее стабильно и для участка «четвёртая Ц» снизился приблизительно в 3 раза. Микротвёрдость возросла на несколько единиц для всех участков.

В третьей серии опытов для обработки участок «вторая Ц», «первая Ц», «первая П» был установлен рабочий зазор 4 мм. В этом случае снижение шероховатости обработанной поверхности для участка «первая Ц» по параметру Ra было наиболее значительным. Для остальных участков значительных изменений по данному параметру выделено не было. Для участка «первая Ц» были отмечены наилучшие изменения по остальным параметрам шероховатости. Так, параметры Rk и Rpk снизились приблизительно в 2 раза. Микротвёрдость оставалась практически неизменной.

В четвёртой серии опытов для обработки участков «вторая П», «третья П», «четвёртая П» технологический зазор было увеличен до 4,5 мм. У участков «вторая П» и «третья П» наблюдалось дальнейшее снижение шероховатости по параметру Ra (фиг. 6) и более заметное снижение параметров Rk, Rpk, Rvk. Так, на участке «третья П» параметр Rpk снизился более чем в 2 раза. Однако на участке «четвёртая П» шероховатость по параметру Ra, напротив, повысилась. То же самое можно сказать и о других параметрах на этом участке. Увеличение микротвёрдости было на этих участках наименее значительным.

По результатам второго этапа обработки установлено, что диапазон разброса значений для параметра Ra составил от 0,239 мкм до 1,962 мкм, для параметра Rk - от 0,646 мкм до 4,314 мкм, для параметра Rpk - от 0,148 мкм до 0,594 мкм, для параметра Rvk - от 0,654 мкм до 4,164 мкм. Для параметра Rpk сужение диапазона было наиболее значительным, для параметра Rvk не было отмечено заметных изменений. Новые значения микротвёрдости лежали в диапазоне от 199 кгс/мм² до 248 кгс/мм². Диаметр отпечатка при измерении микротвёрдости уменьшился на 9,5% (фиг. 7).

Таблица 2 - Режимные параметры эксперимента и результаты замеров шероховатости и микротвёрдости участков заготовок

№ п/п	Условия обработки					Контролируемые параметры				
	Магнитная индукция, В, Тл	Частота вращения заготовки, л, мин ⁻¹	Величина подачи, S, мм/мин	Рабочий зазор, δ, мм	Время обработки, t, мин	Ra, мкм	Rk, мкм	Rpk, мкм	Rvk, мкм	Hv, кгс/мм ²
«первая Л»	1,2	220	12000	1	4	0,513	1,412	0,374	1,249	235
«вторая Л»	1,2	220	12000	1	5	0,971	2,568	0,576	2,141	195
«третья Л»	1,2	220	12000	1	6	1,558	4,190	0,638	3,133	201
«четвёртая Л»	1,2	220	12000	1,5	4	1,809	4,399	0,929	3,484	212
«четвёртая Ц»	1,2	220	12000	1,5	5	1,406	3,209	1,669	2,539	216
«третья Ц»	1,2	220	12000	1,5	6	1,625	4,587	0,658	2,479	218
«вторая Ц»	1,2	220	12000	2	4	0,690	2,017	0,293	1,469	243
«первая Ц»	1,2	220	12000	2	5	0,406	1,196	0,290	0,838	223
«первая П»	1,2	220	12000	2	6	1,207	2,698	0,414	2,599	201
«вторая П»	1,2	220	12000	2,5	4	1,218	3,114	0,953	2,754	204
«третья П»	1,2	220	12000	2,5	5	2,326	5,432	0,867	4,262	242
«четвёртая П»	1,2	220	12000	2,5	6	0,579	1,304	0,326	1,816	235
«первая Л»	1,2	220	12000	3	1	0,588	1,726	0,477	1,313	240
«вторая Л»	1,2	220	12000	3	2	0,833	2,045	0,488	2,155	199
«третья Л»	1,2	220	12000	3	3	1,206	2,248	0,424	3,121	200
«четвёртая Л»	1,2	220	12000	3,5	1	1,540	3,934	0,773	2,913	215
«четвёртая Ц»	1,2	220	12000	3,5	2	1,492	4,077	0,561	2,277	219
«третья Ц»	1,2	220	12000	3,5	3	1,434	2,685	0,456	3,350	221
«вторая Ц»	1,2	220	12000	4	1	0,724	1,964	0,380	1,746	245

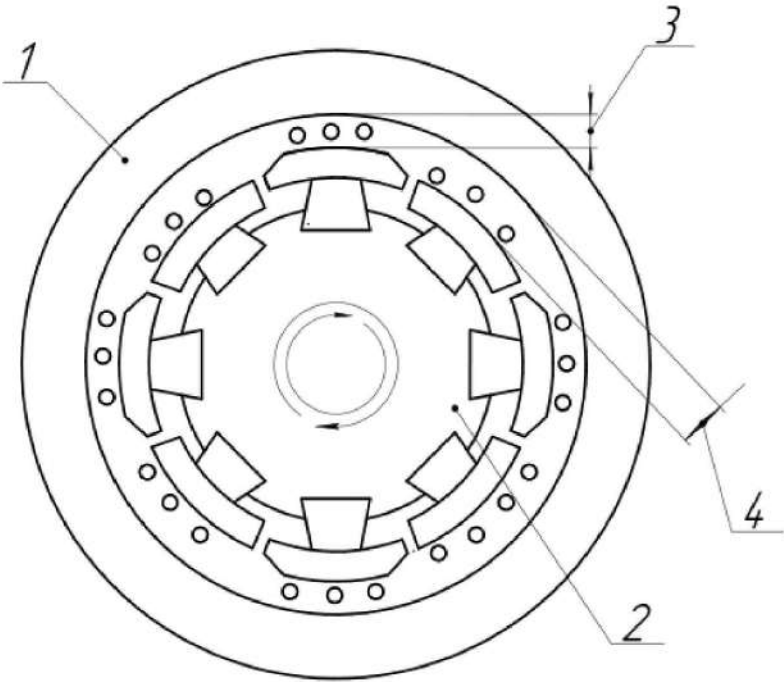
«первая Ц»	1,2	220	12000	4	2	0,239	0,646	0,148	0,654	219
«первая П»	1,2	220	12000	4	3	1,114	2,211	0,447	2,910	204
«вторая П»	1,2	220	12000	4,5	1	0,870	1,907	0,594	2,222	206
«третья П»	1,2	220	12000	4,5	2	1,962	4,314	0,379	4,164	248
«четвёртая П»	1,2	220	12000	4,5	3	1,065	2,579	0,444	2,463	236

Наиболее оптимальные значения шероховатости и микротвёрдости были достигнуты при реализации серии опытов, сочетающих черновую обработку с реализацией технологического зазора 2,5 мм и временем обработки 4 мин и чистовой обработки с реализацией зазора 4,5 мм и временем обработки 1 мин. Это позволяет сформировать профиль контактной поверхности с заданной шероховатостью и величиной микротвёрдости с образованием на этой поверхности маслоудерживающих рисок.

(57) Формула изобретения

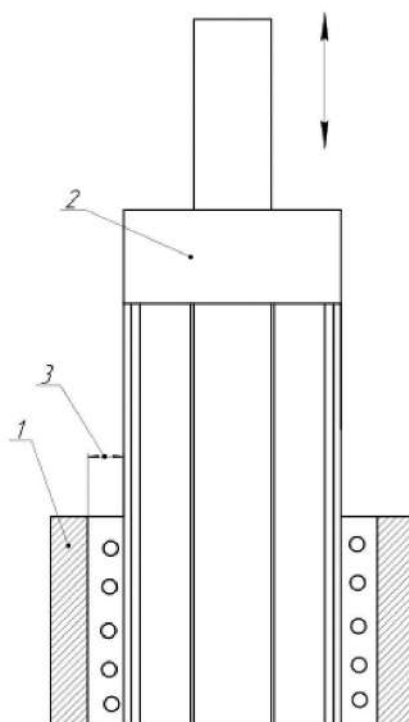
Способ магнитно-абразивной обработки внутренних поверхностей полых деталей типа тел вращения, включающий введение в зону обработки магнитопроводной оправки с концентраторами магнитного поля и предварительно нанесённой на них абразивной массой, отличающийся тем, что в качестве концентраторов магнитного поля используют установленные посредством соединения «ласточкин хвост» на цилиндрическую основу магнитопроводящей оправки подложки с постоянными магнитами, количество которых выбирают чётным в зависимости от диаметра обрабатываемой поверхности, при этом на первом этапе обработки производят черновую обработку постоянными магнитами, которые закрепляют относительно обрабатываемой поверхности с зазором в диапазоне от 1 до 2,5 мм, а на втором этапе - чистовую обработку детали постоянными магнитами, которые закрепляют относительно обрабатываемой поверхности детали с зазором в диапазоне от 3 до 4,5 мм, при этом оправке сообщают вращательное движение и колебательное движение вверх-вниз, обеспечивающие чередование подложек с магнитами, имеющими разные зазоры с обрабатываемой поверхностью, и формирование на обрабатываемой поверхности сетки маслоудерживающих рисок под углом от 45° до 60° относительно друг друга, при этом на первом этапе обработки производят прохождение оправки вдоль обрабатываемой поверхности и её вращение по часовой стрелке с обеспечением перемещения абразивной массы по поверхности оправки в направлении, противоположном её вращению, а на втором этапе обработки осуществляют выход оправки из обрабатываемой детали и её вращение против часовой стрелки, обеспечивающее перемещение абразивной массы по поверхности оправки также в противоположном её вращению направлении.

1

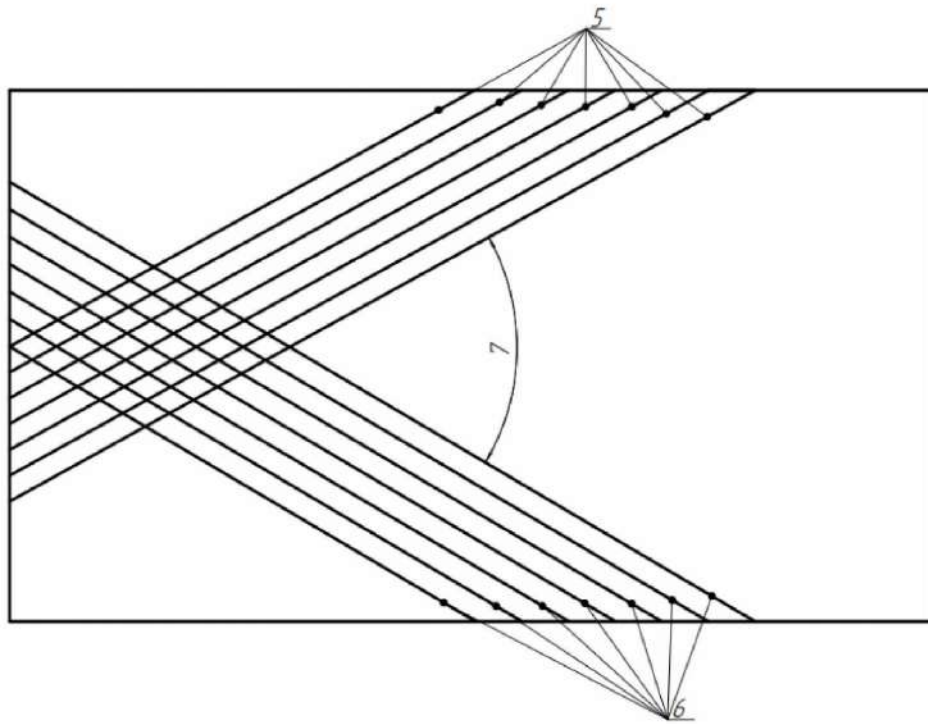


Фиг. 1

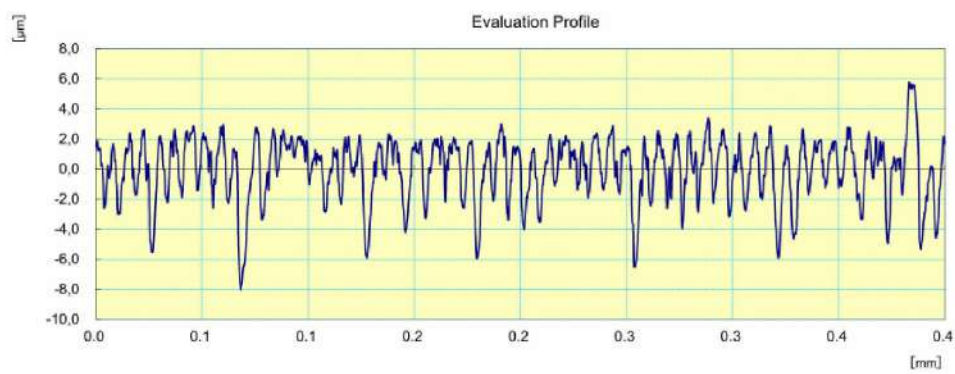
2



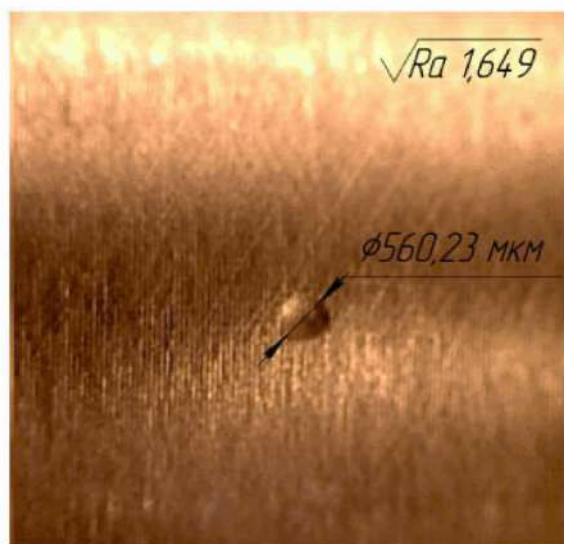
Фиг. 2



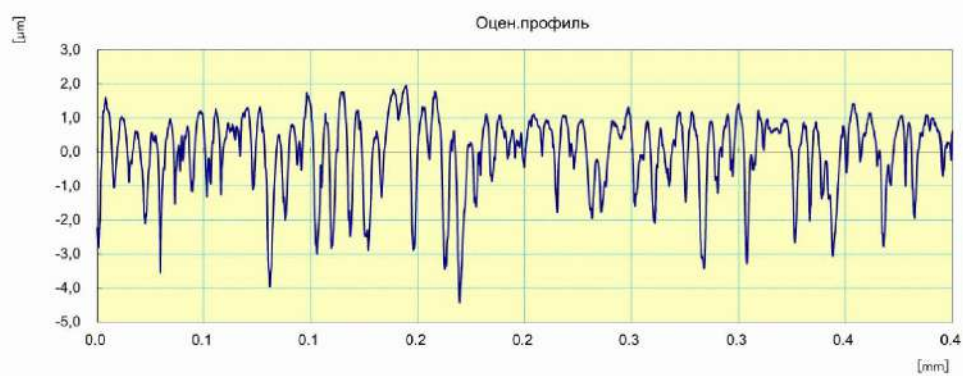
Фиг. 3



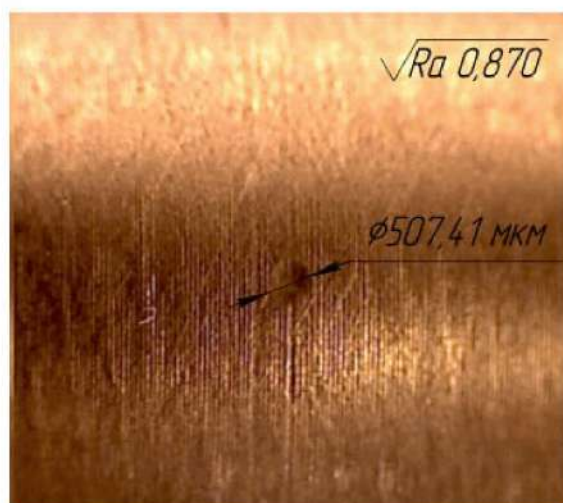
Фиг. 4



Фиг. 5



Фиг. 6



Фиг. 7