

Научноёмкие технологии в машиностроении. 2023. №7 (145). С.8-14.

Science intensive technologies in mechanical engineering. 2023. №7 (145). P. 8-14.

Научная статья

УДК 621.923

doi: 10.30987/2223-4608-2023-7-8-14

Развитие технологического обеспечения методов обработки с использованием несвязанного абразива

Петр Юрьевич Бочкарев, д.т.н.

Камышинский технологический институт – филиал
ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет»,
Камышин, Волгоградская область, Россия;

ФГБОУ ВО Саратовский государственный университет генетики,
биотехнологии и инженерии имени Н. И. Вавилова, Саратов, Россия
bpy@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0587-6338>

Аннотация. Представлены на основе анализа известных методов обработки с использованием несвязанного абразива тенденции их развития. Отмечены наряду с широкими технологическими возможностями и относительно низкой себестоимостью существующие недостатки методов, устранение которых обеспечит перспективность развития операций обработки деталей с использованием свободного абразива. Предложен подход, заключающийся в формировании структуры баз данных способов обработки по конструктивно-технологическим признакам и проведении генерации групп способов, отличающихся однородными проектными процедурами их разработки с использованием математического аппарата кластерного анализа. В статье описаны и приведены схемы разработанных способов обработки наружных и внутренних поверхностей типа тел вращения уплотненным слоем абразивной среды. Они позволяют формировать однородные качественные характеристики при обработке поверхностей детали путем формирования в камере области абразивного материала, равномерно уплотненного в местах взаимодействия обрабатываемой поверхности и абразивных зерен, обеспечить условия выравнивания контактных давлений на обрабатываемой поверхности. На основе выполненных исследований и апробации представленных способов определены научно-технические задачи, решение которых позволит реализовать технологическое обеспечение их эффективного применения. С целью снижения сложности создаваемых моделей и объемов экспериментальных исследований предложена стратегия проведения исследовательских работ на основе унификации отдельных проектных процедур технологической подготовки производства. Полученные результаты позволили теоретически обосновать системный подход к формированию среды автоматизированного планирования операций, выполняемых с использованием несвязанного абразива, заключающийся в создании формализованных однородных проектных процедур для сгруппированных методов обработки

Ключевые слова: механообрабатывающие производства, технологическая подготовка производства, обработка несвязанным абразивом, технологическая операция, проектные процедуры разработки технологических процессов

Для цитирования: Бочкарев П.Ю. Развитие технологического обеспечения методов обработки с использованием несвязанного абразива // Научноёмкие технологии в машиностроении. 2023. № 7 (145). С. 8–14. doi: 10.30987/2223-4608-2023-7-8-14

The development of engineering support for loose abrasive working methods

Pyotr Yu. Bochkarev, D. Eng.

Kamyshinsky Technological Institute, Branch school of the Volgograd State Technical University

Abstract. The trends of working methods development based on the analysis of certain working methods using loose abrasive are given. Along with wide technological capabilities and relatively low cost, the existing irregularities of methods are noted. The elimination of them will ensure prospective viability for the development of machining operations with the use of loose abrasive. An approach was suggested. It consists in forming the structure of databases of working methods according to structural and technological features and generating groups of methods differing in homogeneous design procedures for their development using a mathematical tools technique of cluster analysis. The article describes and provides diagrams of the developed methods of external and internal surfacing of rotation body type using a compacted layer of abrasive medium. They make it possible to get not varying qualitative characteristics, finishing through forming an area of abrasive material in the chamber with equal compaction in the places of interaction of the treated surface and abrasive grains, and to provide conditions for equalization of contact pressures on the working surface. Based on the performed research and testing of the presented methods, scientific and technical tasks have been identified, the solution of which will make it possible to implement the technological support of their effective application. For the purpose of reducing the complexity of the created models and the volume of experimental research, a strategy for conducting research based on the unification of individual project procedures for technological preparation of production is proposed. The obtained results allowed making theoretical substantiation of a systematic approach to the formation of an environment for automated planning of operations using loose abrasive, which consists in the creation of formalized homogeneous design procedures for grouped working methods.

Keywords: machining industries, technological preparation of production, loose abrasive finishing, technological operation, design procedures for technological processes development

For citation: Bockarev P.Yu. The development of engineering support for loose abrasive working methods / Science intensive technologies in mechanical engineering. 2023. №7 (145). P. 8–14. doi: 10.30987/2223-4608-2023-7-8-14

Введение

Доминирующими направлениями развития современных производств являются широкое внедрение информационных технологий и использование новых материалов, обладающих разнообразными физико-механическими и механическими характеристиками. Работы в данных направлениях невозможны без серьезных исследований, затрагивающих все аспекты технологической подготовки механообрабатывающих производств [1]. В первую очередь – это вопросы формализации этапов разработки и реализации технологий. Учитывая многообразие подходов, связанных с выполнением заданий по изготовлению конкретных изделий и, как следствие, формирование многоплановых подходов к их решению, в настоящее время возникла необходимость четкой научно-обоснованной структуризации всех элементов проектных процедур планирования технологических процессов.

Применительно к разработке операционных технологий создание высокоэффективных автоматизированных систем невозможно без детального анализа имеющихся методик и накопленного опыта для каждого из видов обработки. Формирование связей между методами обработки и конструктивными характеристиками

обрабатываемых поверхностей, технологическими возможностями оборудования и оснастки, позволяет реализовать создание формализованных моделей, объединяющих методы обработки в отдельные группы с позиции однородности выполнения проектных процедур [2]. Такой подход позволяет системно разрабатывать универсальные программные модули технологического обеспечения для широкого использования в условиях различных машиностроительных производств, основанные на экспертно обоснованных моделях.

Другим результатом использования данного подхода является информация по отсутствию или недостаточному вниманию со стороны исследователей к отдельным аспектам и особенностям рассматриваемых методов обработки, так как структуризация наглядно позволяет определить сформировавшиеся пробелы.

В статье приводится взгляд с этих позиций на методы, связанные с обработкой поверхностей деталей с использованием в качестве обрабатывающего инструмента несвязанного абразива и отдельные направления развития этих методов. К наиболее известным и используемым в практике методам относятся: струйно-абразивная обработка; обработка свободным абразивом; турбоабразивная обработка; вибрационная

обработка; магнитно-абразивная обработка. Различие этих методов связано с решением обширных задач, целями которых является финишная обработка и полировка, удаление острых кромок, снятие заусенцев, подготовка поверхности для нанесения защитных покрытий и т. д. В связи с этим на выбор соответствующего метода в первую очередь влияет конструкция обрабатываемых деталей и производственные условия, в которых реализуется операция.

Данные аспекты исторически предопределили направления в развитии как самих методов обработки с использованием несвязанного абразива, так и оборудования, средств технологического оснащения, особенностей их использования на различных этапах технологического процесса изготовления деталей. Наиболее известными научными школами с позиций временного измерения и объемов выполненных научно-производственных работ выделяются коллективы, основоположниками которых являются А.П. Бабичев и А.Н. Мартынов. Области их исследований во многом связаны с заказами конкретных производств и спецификой обрабатываемых деталей, преимущественно – вибрационная обработка и обработка свободным абразивом, уплотненным инерционными силами, которые имеют наиболее глубокую методическую проработку и в настоящее время более близки к комплексной автоматизации процессов из проектирования.

Дополнительный интерес к методам обработки с использованием несвязанного абразива вызван растущими требованиями к качеству изделий, повышению производительности и эффективности производства, решение которых возможно за счет создания новых схем обработки, ведущих к упрощению конструкции технологического оборудования, сокращения трудоемкости его наладки и обслуживания. Обработка несвязанным абразивом обладает широкими технологическими возможностями, относительно низкой себестоимостью и не имеет ряда недостатков, присущих обработке закрепленным абразивом обусловленным постоянным положением абразивных зерен на периферии круга: высокие температуры; ограничения по форме обрабатываемых поверхностей; сложности наладки и правки инструмента. Кроме этого, серьезно значимым преимуществом рассматриваемых методов является возможность вести

обработку с формированием меньшего, по сравнению с другими известными методами механической обработки, глубинами дефектного поверхностного слоя за счет эффективного проникновения смазочно-охлаждающей жидкости в зону резания и расширения возможностей отвода тепла.

Представленные преимущества позволяют сделать заключение о перспективности развития методов обработки с использованием свободного абразива особенно применительно к поверхностям деталей, которые имеют форму в виде тел вращения, как наиболее ответственным, имеющим широкое разнообразие конструктивных форм, большой удельный вес среди поверхностей другого вида и имеющих повышенные требования к характеристикам поверхностного слоя. Проанализировав известные методы, связанные с обработкой поверхностей типа тел вращения несвязанным абразивом, в качестве основного их недостатка выступает низкая производительность, а часто и невозможность получения заданных характеристик, связанная с недостаточным контактным давлением абразивных частиц на обрабатываемую поверхность [3, 4].

Выполненный анализ обработки наружных поверхностей деталей типа тел вращения позволил выделить наиболее часто упоминающиеся в научной литературе и имеющих практическую реализацию способы [5 – 7]. Однако их использование, в связи с недостаточной величиной контактных давлений абразивных зерен на участках обрабатываемого профиля детали, ограничено. Данный недостаток частично устранен известными способами [8] за счет установления детали в вертикальное положение, посредством вращения ротора и оправки, создающими уплотнение абразивной среды, и [9] вертикальным погружением деталей в цилиндрическую камеру, заполненную абразивным материалом, с эластичными стенками, уплотнением абразивной среды через стенки камеры, деформируя избыточным давлением локальные зоны стенки.

Промышленное использование данных способов имеет ограничения, связанные с низкой производительностью обработки, обусловленной тем, что обработка производится в недостаточно сжатой среде абразива, приводящей к снижению интенсивности воздействия частиц абразива с обрабатываемой поверхностью детали. Также ограничения связаны с требованием

наличия системы подачи рабочей жидкости под давлением со сложным управлением процесса взаимодействия частиц абразива с обрабатываемой поверхностью, низкой универсальностью в части формы обрабатываемых поверхностей, ограниченной определенным количеством локальных зон деформируемой стенки камеры.

Для снижения представленных недостатков предложен новый способ обработки деталей свободным абразивным материалом, обеспечивающий повышение качества, производительности и расширяющий технологические возможности обработки наружных поверхностей в форме тел вращения за счет упрощения схемы ее реализации (рис. 1). В способе обработки заготовку устанавливают горизонтально оси вращения ее обрабатываемых поверхностей в камеру, образуемую внутренней цилиндрической поверхностью барабана с горизонтальной осью. Ось вращения заготовки Od смещена относительно оси вращения барабана OD .

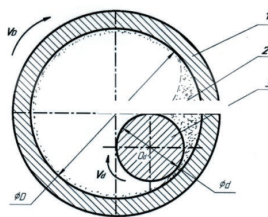


Рис. 1. Схема обработки уплотненной средой несвязанных абразивных зерен наружных поверхностей типа тел вращения:

1 – корпус камеры; 2 – зона абразивного слоя; 3 – обрабатываемая деталь

Fig. 1. Scheme of finishing through a compacted medium of loose abrasive grains for external surfaces of rotation bodies type:

1 – chamber body; 2 – abrasive layer zone; 3 – machined part

В камеру засыпают абразивный материал и обеспечивают вращение барабана и заготовки. Скорость вращения внутренней поверхности барабана должна быть не ниже скорости, обеспечивающей за счет центробежной силы, воздействующей на абразивные зерна, прижатие их к внутренней поверхности барабана. Скорость вращения заготовки должна быть не ниже условий, обеспечивающих микрорезание при обработке поверхности. Под действием центробежной силы абразив перемещается по направлению вращения барабана и за счет сужения (снижения площади сечения) в плоскости вдоль оси между обрабатываемыми поверхностями и внутренней

поверхностью барабана образуется область, заполненная абразивными зернами. При этом в нижней части данной области образуется уплотненная за счет давления верхних слоев зона. Также, в этой зоне происходит фиксация абразивных зерен, непосредственно контактирующих с обрабатываемой поверхностью под воздействием зерен, расположенных в верхних слоях создаваемой области. В связи этим возникает дополнительное давление, обеспечивающее условия микрорезания абразивным зерном обрабатываемой поверхности.

Объем засыпаемого абразивного материала должен обеспечивать формирование области слоя абразивных частиц. За счет эффекта сыпучести в верхних слоях области абразивных частиц создается равномерное заполнение ими образующихся полостей по всему объему формируемой области, и их распределение копирует профиль обрабатываемой поверхности, что обеспечивает равномерный сьем металла по всему контуру заготовки в зоне обработки. Возрастающие силы резания, возникающие при образовании площадок износа на абразивных зернах в процессе обработки, обеспечивают постоянное перемешивание и обновление абразивных зерен в местах контакта абразива и обрабатываемой поверхности.

Среди способов обработки внутренних поверхностей типа тел вращения, в том числе сложного профиля, в машиностроении и других отраслях промышленности свободным абразивным материалом известны абразивно-струйные методы обработки внутренних цилиндрических поверхностей заготовок с помощью формирования и подачи абразивно-воздушной или гидроабразивной смеси посредством сопел на обрабатываемую поверхность [10]. Размещение внутри обрабатываемой поверхности абразивного материала, подачу сжатого воздуха под давлением и образование абразивно-воздушной смеси в рабочей зоне [11], центробежно-планетарной обработки свободными абразивными частицами, уплотненными инерционными, преимущественно центробежными силами, при планетарном вращении контейнеров с установленными в них деталями [12 – 15]. Недостатки данных способов связаны с недостаточной величиной контактных давлений абразивных зерен на участках обрабатываемого профиля детали, низкая интенсивность воздействия частиц абразива на

обрабатываемую поверхность, снижающая производительность обработки, невозможностью обеспечения равномерной обработки и достижение стабильных характеристик качества рабочих поверхностей.

Как развитие представленных схем обработки предлагается два способа: при возможности обеспечения вращения детали с обрабатываемыми поверхностями (рис. 2, а) и при условии неподвижной ее установки, связанной с габаритами, конструктивными особенностями детали и др. (рис. 2, б).

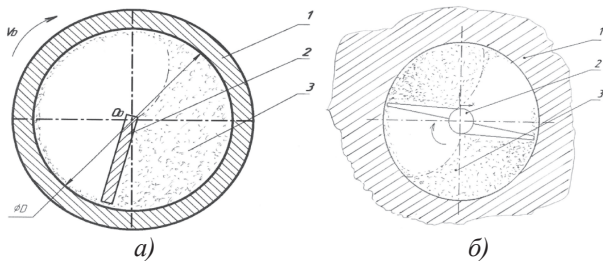


Рис. 2. Схемы обработки уплотненной средой несвязанных абразивных зерен внутренних поверхностей типа тел вращения:

1 – заготовка; 2 – конструктивный элемент; 3 – зона абразивного слоя

Fig. 2. Schemes of finishing with a compacted medium of loose abrasive grains of internal surfaces of rotation bodies type:

1 – rough piece; 2 – structural element; 3 – abrasive layer zone

В первом случае заготовку устанавливают горизонтально оси вращения ее обрабатываемых поверхностей. Во внутренней полости заготовки размещают конструктивный элемент (деталь или сборочную единицу, имеющую форму пластины, сферы и др.) создающий равный зазор с обрабатываемой поверхностью и располагающийся параллельно оси вращения обрабатываемых поверхностей типа тел вращения. Конструктивный элемент изготавливается из материала, имеющего большую абразивную износостойкость по сравнению с обрабатываемыми деталями.

В камеру, ограниченную внутренней полостью заготовки, засыпают абразивный материал и создают вращение заготовки в сторону, обеспечивающее в соответствии с формой и расположением неподвижного конструктивного элемента формирование области, заполненной абразивными зернами. Скорость вращения заготовки должна быть не ниже условий, обеспечивающих микрорезание при обработке

поверхности. Под действием центробежной силы абразив перемещается в направлении вращения заготовки и за счет сужения (снижения площади сечения в плоскости вдоль оси заготовки) между обрабатываемой поверхностью и неподвижным конструктивным элементом образуется область 3, заполненная абразивными зернами.

В случае неподвижной схемы установки детали предлагается способ абразивной обработки цилиндрических отверстий деталей, включающем горизонтальное расположение оси обрабатываемого цилиндрического отверстия заготовки с частично заполненной абразивным материалом внутренней полостью, при этом обработку ведут несвязанным абразивом, в полости заготовки размещают соосно с осью отверстия вращающийся конструктивный элемент, имеющий лопатку(и), форма и расположение которой(ых) обеспечивают формирование области(ей) заполненной(ых) абразивными зернами, уплотненной(ых) в зоне контакта абразива и обрабатываемой поверхности, а скорость его вращения устанавливают не ниже условий, обеспечивающих процесс микрорезания при обработке поверхности отверстия заготовки.

Описанные способы позволяют формировать однородные качественные характеристики при обработке поверхности детали путем формирования в камере области абразивного материала, равномерно уплотненного в местах взаимодействия обрабатываемой поверхности и абразивных зерен, обеспечить условия выравнивания контактных давлений на обрабатываемой поверхности. Схема обработки обеспечивает отсутствие локальных разно-температурных зон на обрабатываемых поверхностях, а также возможность за счет простых технических решений осуществлять отвод температуры. При этом появляются принципиально новые перспективные подходы к решению вопросов управления характеристиками формируемого поверхностного слоя обрабатываемых поверхностей.

Повышение производительности использования представленных способов обеспечивается за счет расширения технологических возможностей обработки, позволяющих устанавливать рациональные параметры и режимы обработки. К регулируемым технологическим параметрам и режимам процесса обработки относятся: форма, размеры и расположение

конструктивных элементов оборудования, величины зазора между обрабатываемыми поверхностями и элементами установки, частота вращения заготовки и вращающихся частей установки, материал и зернистость абразивных зерен, объем абразивного материала, время обработки. Несложность технической реализации способов, отсутствие необходимости использования пневмо и гидросистем в управлении процессом его реализации создает предпосылки для высокой степени универсальности применения и невысокие требования к квалификации персонала при наладке и обслуживании.

Проведенная апробация реализации представленных способов показала их работоспособность и определила круг первоочередных научно-технических задач, решение которых позволит реализовать технологическое обеспечение их эффективного применения. Среди них: установление характера воздействия уплотненного абразивного слоя на обрабатываемую поверхность; исследование режущей способности и стойкости зерен уплотненного слоя; динамические характеристики в отдельных зонах абразивного слоя и плотность контактирования в них частиц. Однако очевидна значительная сложность создаваемых моделей, проведение больших объемов экспериментальных исследований, которые являются основой создания программных средств технологической подготовки производства. С позиции выполнения совокупности данных исследований, ограничиваясь проработкой представленных в статье способов, видится нерациональным.

С целью избежания такой локальной направленности проведения научных работ предложена стратегия проведения исследований, базовым принципом которой является подход к созданию моделей, построенных на результатах анализа отдельных проектных процедур технологической подготовки производства с позиции объединения методов обработки в группы по однородности из выполнения. На основе формирования структуры баз данных методов обработки с использованием несвязанного абразива в качестве обрабатывающего инструмента по конструктивно-технологическим признакам, их заполнения и проведения генерации множеств методов с использованием математического аппарата кластерного анализа обеспечивается создание универсального методического,

алгоритмического и программного обеспечения автоматизированных подсистем для каждой проектной процедуры.

Заключение

Представлены результаты проведенных аналитических исследований современного состояния в области научных достижений и производственных практик технологического обеспечения способов обработки деталей с использованием в качестве инструмента несвязанного абразива. На примере обработки наружных и внутренних поверхностей типа тел вращения показаны возможные пути их развития и приведены примеры новых способов, обеспечивающих повышение производительности, снижение себестоимости реализации операций для широкого диапазона изготавливаемых деталей и требований к используемому техническому оснащению.

Описанные способы упрощают вопросы автоматизации обработки и позволяют на базе развития существующих моделей, описывающих процессы воздействия несвязанных абразивных зерен на обрабатываемую поверхность под действием различных факторов, и современного математического аппарата выполнить создание среды автоматизированного планирования рассматриваемых технологических операций. Предложен системный подход к формированию такой среды, заключающийся в разработке формализованных моделей отдельных сгруппированных по принципу однородности выполнения проектных процедур технологической подготовки операций, с применением несвязанного абразива, построенный на основе базы данных конструктивных характеристик обрабатываемых поверхностей и технологических параметров обработки.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Справочник технолога / под общей ред. А.Г. Суслова. М.: Инновационное машиностроение, 2019. 800 с.
2. Малинин П.В., Бочкарев П.Ю., Ульянова Л.Д., Шалунов В.В. Совершенствование технологической подготовки операций бесцентрового шлифования // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. 2022. № 4. С. 147–160.
3. Корчак С.Н. Производительность процесса шлифования стальных сталей. М.: Машиностроение, 1974. 279 с.

4. Стратиевский И.Х., Юрьев В.Г., Зубарев Ю.М. Абразивная обработка: справочник. М.: Машиностроение, 2010. 352 с.

5. Авторское свидетельство №948637. Способ обработки деталей в среде свободного абразива / А.Н. Мартынов, П.И. Ящерицын, В.З. Зверовщиков, Н.А. Миронычев.

6. Авторское свидетельство №1579740. Способ абразивной обработки деталей / А.Н. Мартынов, В.М. Федосеев, В.А. Скрыбин.

7. Патент №2084327. Способ обработки деталей в псевдооживленном слое абразива и устройство для его осуществления / А.В. Королев, П.Ю. Бочкарев.

8. Авторское свидетельство №1803308 A1 (SU), М. кл. B24B31/104. Способ обработки деталей / А.Н. Мартынов, В.А. Лемин, В.А. Скрыбин, В.М. Федосеев, А.В. Сытников.

9. Патент №2302940(RU), М. кл. B24B31/108. Способ камерной абразивной обработки и устройство для его осуществления / В.З. Зверовщиков, А.Е. Зверовщиков, Е.А. Зверовщиков.

10. Патент RU 159216. Устройство для гидроабразивной обработки внутренних и наружных поверхностей трубных заготовок / Санинский В.А., Осадченко Е.Н., Носенко В.А., Сторчак Н.А., Александров А.А.

11. Патент RU 2558782. Способ обработки внутренних цилиндрических поверхностей свободным абразивом / Бочкарев П.Ю., Захаров О.В., Скляр И.А.

12. Патент RU 2703065C1. Способ центробежной абразивной обработки колец подшипников качения Зверовщиков В.З., Зверовщиков А.Е., Нестеров С.А., Зверовщиков А.В., Макарычев П.В.

13. Патент RU 2365484. Способ центробежной обработки деталей и устройство для его осуществления / Зверовщиков В.З., Зверовщиков А.В., Зверовщиков А.Е., Агейкин И.В.

14. Авторское свидетельство № 963829. Способ центробежно-планетарной обработки колец / Бондаренко И.Е., Фишбейн С.И., Ершов В.К., Лившиц Б.А., Фишбейн Е.И.

15. Авторское свидетельство СССР № 814683. Способ обработки изделий / Мартынов А.Н., Свицкий М.М., Тарнопольский А.В., Зверовщиков В.З., Нечаев П.В., Долуда А.С.

REFERENCES

1. Technologist's Reference Book / under the general editorship of A.G. Suslov. Moscow: Innovative Mechanical engineering, 2019, 800 p.

2. Malinin P.V., Bochkarev P.Yu., Ulyanova L.D., Shalunov V.V. Improving the technological preparation of centerless grinding operations/ Proceedings of Volgograd State Technical University, Volga region. Technical sciences, 2022, no. 4. pp. 147–160.

3. Korchak S.N. Productivity of process of grinding of steel details. Moscow: Mashinostroyeniye, 1974. 279 p.

4. Stratievsky I.H., Yuryev V.G., Zubarev Yu.M. Abrasive finishing: reference book. Moscow: Mashinostroyeniye, 2010, 352 p.

5. Author's certificate No. 948637. Method of processing free abrasive / A.N. Martynov, P.I. Lizarditsyn, V.Z. Zverovshchikov, N.A. Mironychev.

6. Author's certificate No. 1579740 Method of abrasive processing of parts / A.N.Martynov, V.M.Fedoseev, V.A.Scriabin.

7. Patent No. 2084327. Method of processing parts in a fluidized bed of abrasive and a device for its implementation / A.V. Korolev, P.Y. Bochkarev.

8. Author's certificate No. 1803308 A1 (SU), М. кл. B24B31/104. Method of processing parts / A.N. Martynov, V.A. Lamin, V.A. Scriabin, V.M. Fedoseev, A.V. Sytnikov.

9. Patent No. 2302940(RU), М. кл. B24B31/108. The method of chamber abrasive finishing and the device for its implementation / V.Z. Zverovshchikov, A.E. Zverovshchikov, E.A. Zverovshchikov.

10. Patent RU 159216. Device for waterjet treatment of internal and external surfaces of pipe billets / Saninsky V.A., Osadchenko E.N., Nosenko V.A., Storchak N.A., Aleksandrov A.A.

11. Patent RU 2558782. Method of processing internal cylindrical surfaces with a free abrasive / Bochkarev P.Yu., Zakharov O.V., Sklyarov I.A.

12. Patent RU 2703065C1. Method of centrifugal abrasive treatment of rolling bearing rings / Zverovshchikov V.Z., Zverovshchikov A.E., Nesterov S.A., Zverovshchikov A.V., Makarychev P.V.

13. Patent RU 2365484. The method of centrifugal processing of parts and the device for its implementation / Zverovshchikov V.Z., Zverovshchikov A.V., Zverovshchikov A.E., Ageykin I.V.

14. Author's certificate No. 963829. Method of centrifugal planetary processing of rings / Bondarenko I.E., Fishbein S.I., Ershov V.K., Livshits B.A., Fishbein E.I.

15. Author's certificate of the USSR No. 814683. The method of processing products / Martynov A.N., Svirsky M.M., Tarnopolsky A.V., Zverovshchikov V.Z., Nechaev P.V., Doluda A.S.

Статья поступила в редакцию 16.05.2023; одобрена после рецензирования 22.05.2023; принята к публикации 31.05.2023.

The article was submitted 16.05.2023; approved after reviewing 22.05.2023; assepted for publication 31.05.2023.