

Левинская И. М.

Восточноукраинский
национальный
университет имени
Владимира Даля

УДК 621.9.048

К ВОПРОСУ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ ТУРБОАБРАЗИВНЫМ СПОСОБОМ

У статті дан огляд існуючих моделей обладнання для ТАО; показана відсутність універсальності даного обладнання для обробки широкої номенклатури деталей, намічені подальші напрямки досліджень.

The review of existent models of equipment is given for TAO are shown in the article; absence of universality for this equipment for treatment of wide nomenclature of details is shown, further directions of researches are set.

«Передача силового импульса от днища контейнера насыпной среде осуществляется от одного слоя к другому. При вибрационной обработке наблюдается фазовое отставание в перемещении различных слоев. Может иметь место режим работы, при котором внутренние или верхние слои находятся во взвешенном состоянии, а нижний, падая на рабочий орган, т.е. на днище контейнера, вновь получает и передает импульс вышележащему слою, когда тот еще не закончил своего движения вверх. Такая передача движения снижает производительность, так как слоями абразивных частиц, значительно удаленными от стенок контейнера, съем металла с детали практически прекращается»

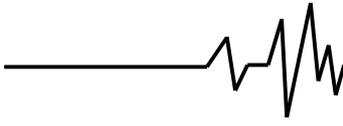
Шаинский М.Е.

Рассматривая вибрационную обработку деталей в среде свободного абразива, Михаил Ефимович Шаинский неоднократно указывал на то, что появление взвешенных слоев загрузки в рабочей камере под действием вибрации приводит к снижению производительности обработки [1]. Однако существует такой способ обработки, где получение данного эффекта является необходимым. Речь идет о турбоабразивном методе обработки деталей в псевдооживленном абразиве.

На всех этапах развития современного машиностроения одной из наиболее важных задач является необходимость улучшения качества выпускаемых изделий, что в значительной степени определяется эффективностью проведения отделочно-зачистных операций, трудоемкость которых в различных отраслях промышленности

составляет от 10...20% до 40...70% общей трудоемкости изготовления деталей и имеет тенденцию к возрастанию [2, 3, 4]

В настоящее время широкое распространение в промышленности получили детали со сложным профилем. К ним относят детали летательных аппаратов, двигателей внутреннего сгорания, дизельных двигателей, а также инструментальной оснастки для металлургического и заготовительного производств и др. Формообразование и обеспечение качества изготовления указанных поверхностей требует сложного движения исполнительных органов обрабатывающего оборудования или применения сложных по форме (фасонных) инструментов. В ряде случаев формообразование возможно только специальными методами литья или электроэрозионной обработкой с последующей финишной обработкой [5]. Выбор вида



финишной обработки имеет большое значение, т.к. полученные вышеперечисленными методами поверхности имеют дефектный слой, характеризующийся высоким уровнем остаточных напряжений, деформационного упрочнения (наклепа) и неровностей поверхности, что снижает их надежность и работоспособность, сопротивление усталости и прочность.

При отделочно-зачистной обработке сложнопрофильных деталей использование традиционных способов обработки практически невозможно из-за затрудненного доступа инструмента к обрабатываемой поверхности. Поэтому особенно широкое распространение для этих целей получили методы обработки деталей в свободных абразивах, так как они позволяют во многих случаях механизировать обработку и повысить качественные показатели рабочих поверхностей, а также исключить или свести к минимуму непроизводительный ручной труд [6].

Различные методы обработки свободными абразивами, такие, как вибрационная обработка (ВиО), центробежно-ротационная обработка (ЦРО), струйно-абразивная обработка (САО), турбоабразивная обработка (ТАО) и другие, показали возможность эффективного использования их при обработке различных деталей. Такие методы позволяют сочетать высокую производительность обработки с хорошим качеством обработанной поверхности деталей сложной конфигурации при простом по конструкции оборудовании [4, 5, 6].

Рассмотрим технологические возможности данных методов обработки на отделочно-зачистных операциях.

Виброабразивная обработка. Данный способ представляет собой механический или химико-механический процесс съема мельчайших частиц и его окислов с обрабатываемой поверхности, а также сглаживание микронеровностей путем их пластического деформирования частицами рабочей среды, при интенсивном (под действием вибраций) перемещении среды и деталей или только среды [6]. Широкое применение ВиО нашла для обработки сравнительно небольших деталей (массой до 1-2 кг) сложной формы, обладающих достаточно высокой жесткостью, не имеющих баз. Это литые заготовки из цветных сплавов, стали, чугуна, а также заготовки, полученные штамповкой и методом порошковой металлургии. Примером эффективного применения ВиО является обработка данным способом турбинных лопаток мелких и средних

размеров, деталей санитарно-технической арматуры, заготовок постоянных магнитов (очистка отливок), заготовок режущих инструментов (очистка от окалины), шайб, шпонок, скоб, длинномерных (типа труб, проволоки) деталей, мелких, плоских. И так как наиболее широкое распространение получила ВиО при загрузке деталей «внавал», следует отметить, что обработка легкодеформируемых и достаточно тяжелых деталей затруднительна данным методом [6, 7].

Центробежно-ротационная обработка. ЦРО основана на формировании тороидального потока шлифовального материала на цилиндрической поверхности неподвижной камеры при вращении ротора в виде тарели с коническими стенками [8-11] и может быть реализована по нескольким схемам. Обрабатываемые детали могут загружаться в рабочую камеру «внавал» и в этом случае перемещаются вместе с наполнителем. Таким способом обрабатывают детали различной геометрической формы и сравнительно небольших габаритов, которые не деформируются при движении в тороидально-винтовом потоке. По другой схеме обрабатываемая деталь закрепляется в специальном шпиндельном приспособлении, вводится в обрабатывающую среду, и ей сообщается вращательное движение. Так обрабатывают детали сложной геометрической формы, склонные к сцеплению при свободном движении в рабочей камере, а также крупногабаритные детали типа турбинных колес. На сегодняшний день данная технология предпочтительно применяется при обработке деталей небольших размеров [11].

Струйно-абразивная обработка. Физическая сущность данного способа заключается в воздействии высокоскоростной (30 - 70 м/с) струи абразивно-жидкостной смеси на поверхность обрабатываемой заготовки, и, как правило, такая струя направляется под углом к обрабатываемой поверхности. Наиболее эффективна САО при обработке несимметричных, несбалансированных сложнопрофильных деталей средних размеров; при этом могут быть обработаны как наружные, так и внутренние поверхности. Широко применяют этот способ при обработке пресс-форм, литьевых форм, турбинных лопаток, литых и штампованных сложнопрофильных деталей, лемехов и отвалов тракторных плугов. Однако данная обработка обладает таким недостатком, как неравномерность съема металла по поверхности контакта абразивной струи с деталью; разница в толщине снятого слоя по

краям и в центре поверхности контакта составляет 10^{-2} - 10^{-1} мм [7, 10].

Турбоабразивная обработка. Способ обработки деталей турбоабразивным методом заключается в том, что обрабатываемая деталь помещается в созданный абразивный псевдооживленный (кипящий) слой, и в зависимости от ее формы ей задаются различные виды движений (вращательное, планетарное и др.) (рис. 1). Таким образом в результате большого числа соударений частиц с поверхностью вращающейся детали происходит интенсивный съем металла и формообразование нового микрорельефа поверхности [7, 13].

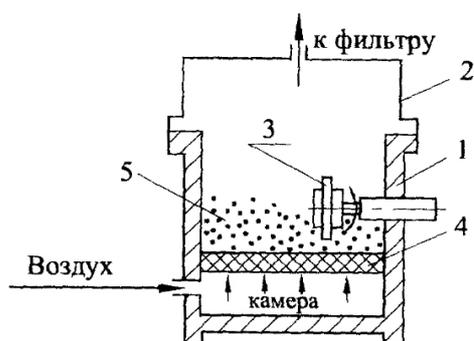


Рис. 1. Схема турбоабразивной обработки [7]:

- 1 – рабочая камера; 2 – крышка;
3 – обрабатываемая деталь;
4 – газораспределительная решетка;
5 – псевдооживленный слой абразивных зерен

Результаты экспериментальных исследований [7, 14] показали, что, обрабатывая детали данным методом, можно выполнять следующие операции:

- удаление с поверхностей заусенцев и скругление острых кромок;
- очистка деталей сложной формы от остатков окалина после термообработки;
- финишная обработка штампованных деталей;

– декоративное шлифование и полирование при финишных операциях, при подготовке поверхности детали под нанесение различного рода покрытия.

- упрочнение поверхностей с одновременным снижением их шероховатости.

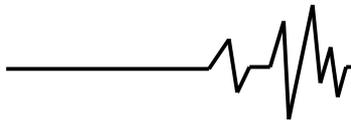
Турбоабразивным способом обрабатывают детали из различных машиностроительных материалов: конструкционных, инструментальных и коррозионно-стойких сталей, цветных, титановых и жаропрочных сплавов. Примерами

высокоэффективного применения технологии турбоабразивной обработки являются: обработка дисков турбин и газотурбинных двигателей после протягивания пазов под лопатки; обработка зубчатых колес после зубонарезания; обработка гребенок-ножей электрических стригальных машинок после прорезки зубьев; обработка декоративных автомобильных колесных колпаков, деталей люстр, деталей стиральных машин, термосов после штамповки; обработка поршневых колец после токарных операций; финишная обработка алмазных отрезных дисков с вскрытием алмазосодержащего слоя. Кроме того, для обработки крупных зубчатых колес и подобных им заготовок этот метод может оказаться единственно возможным [7, 10].

Следует отметить, что данный способ является одним из сравнительно новых методов обработки деталей, в основе которого используется техника псевдооживления сыпучих материалов, что обусловлено рядом ее положительных характеристик, таких, как: низкотемпературность процесса вследствие малых сил взаимодействия абразивных зерен с поверхностью заготовки и высокой степени разреженности псевдооживленного слоя; чрезвычайно большая поверхность взаимодействия твердых частиц со средой, что дает возможность обеспечить интенсивный съем с поверхности заготовки; высокая степень текучести «кипящего» слоя, что может обеспечить обработку сложнопрофильных поверхностей за счет контакта инструмента с поверхностью сложной формы.

Однако следует заметить, что турбоабразивный метод обработки является как весьма интересным и перспективным, с точки зрения применения его для отделочно-зачистных операций обработки деталей, так и весьма непростым в возможности его теоретического описания с учетом особенностей динамики контактных взаимодействий и процессов, происходящих внутри рабочей камеры. Следовательно, применение данного способа обработки определяет необходимость получения информации в результате проведения дальнейших исследований с целью изучения вышеуказанных процессов.

Следует отметить, что созданию данной технологии, а впоследствии внедрению ее в производство, посвящено значительное количество работ [15-66]. Многие из способов, на основе которых были разработаны конструкции для данного вида обработки, показали впоследствии свою неэффективность. Однако, анализируя все



возможные конструкции и способ предложить следующую классификацию осуществления данного метода, можно установок (рис. 2).

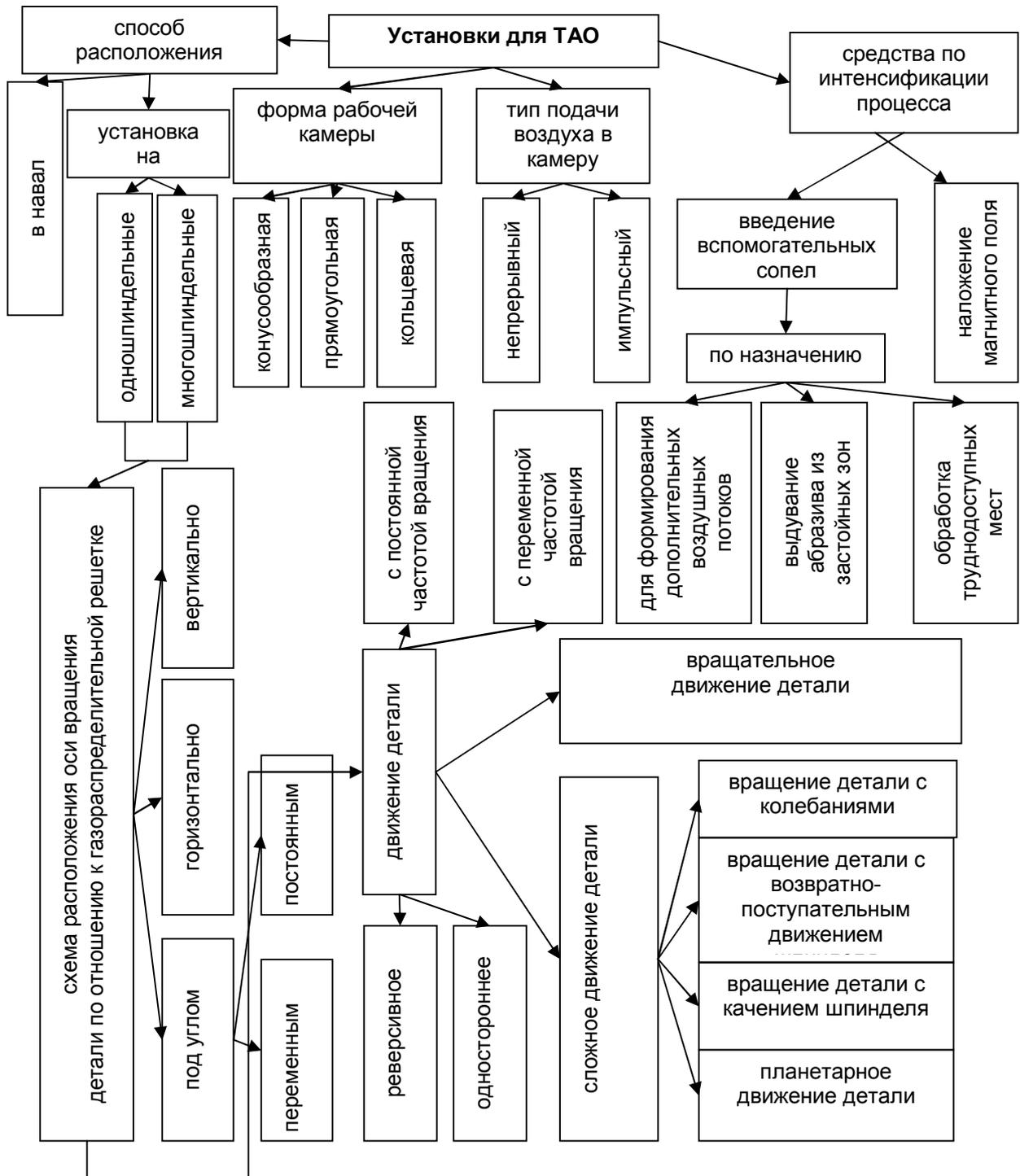
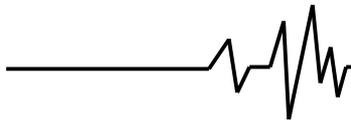


Рис. 2. Классификационная схема конструктивных признаков установок для турбоабразивной обработки

В свою очередь, под руководством «Всесоюзного научно-исследовательского института абразивов и шлифования», правопреемником которого является ОАО «НПК «Абразивы и шлифование», разработаны следующие установки: одношпиндельные (ТАУ-



250, ТАУ-500, ТАУ-800 и ТАУ-1200) и многошпиндельные (ТАУ-250-2, ТАУ-220-4, ТАУ-50-6П), которые позволяют обрабатывать детали различных размеров, диаметром в диапазоне от 50 до 1200 мм и длиной от 200 до 600 мм. Причем последняя, ТАУ-50-6П, отличается от всех предыдущих в первую очередь сложным вращением детали – планетарным.

Непосредственно при внедрении оборудования для ТАО в производство конструкции этих установок были частично переработаны и получили различные изменения, направленные на ликвидацию выявленных таких недостатков: по недостаточной жесткости конструкции; необходимости более тщательной герметизации шпиндельного узла; отсутствие фиксированного останова пульсатора в требуемом положении; неудобство загрузки и выгрузки деталей, особенно массой свыше 20 кг; переход от пневматических приводов (дающие неравномерность хода «выстрелы») к гидравлическим; проблема замены газораспределительных решеток и не только [64, 66, 69, 70]. Совместно с различными предприятиями машиностроительного комплекса на базе существующих установок и появились измененные модели. Изменения коснулись не только базовых узлов установки, но и общей схемы обработки путем внедрения в нее дополнительных устройств, которые в целом были направлены на специализацию конкретных деталей для повышения эффективности их обработки [64-70].

Так, например, в г. Пермь на ПО «Моторостроитель» имени Я.М.Свердлова (ныне - АО «Пермские моторы») изготовлены установки для осуществления ТАО моделей Г816-5177 и Г816-5201, отличительной особенностью которых стало применение эжекторных сопел для обработки закрытых мест и трубки со сжатым воздухом для выдувания абразивных зерен из застойных зон при обработке деталей тел вращения, таких, как диски турбины и компрессора и т.п., также в конструкции увеличена жесткость и мощность электродвигателей [66]. На НПО «Ритм» г. Санкт-Петербург (ныне - ФГУП «ЦНИИ технологии судостроения») при обработке лопастей и ступиц гребных винтов на первых установках положительного результата получено не было, что послужило толчком для разработки и изготовления трехшпиндельной установки с планетарным движением гребного винта, за счет чего была повышена эффективность обработки данного изделия и

получена благоприятная с точки зрения работы винта поверхность [70].

В настоящее время на территории США, где этот метод получил название Turbo-Abrasive Machining, корпорация «Turbo-Finish» использует на отделочно-зачистных операциях сложнопрофильных деталей турбоабразивные установки различных моделей TF (рис. 3), где, как указывает автор работы [9], осуществляются операции полирования заготовок сложной формы, а также скругление острых кромок и удаление заусенцев различных сложнопрофильных деталей авиационной, сельскохозяйственной, автомобильной промышленности и не только, при обработке которых используется технология ТАО с пульсирующим слоем.



Рис. 3. Модель TF-522 для турбоабразивной обработки дисков турбин диаметром до 500 мм корпорации «Turbo-Finish» [62]

В отечественной промышленности, как видно из работы [13], ОАО «Мотор Січ» (г. Запорожье) изготовлены установки модели АПС, схема которой представлена на рис.4, которые также позволяют обрабатывать детали диаметром от 50 до 1200 мм, длиной до 300 мм. На данном предприятии турбоабразивным способом обрабатываются детали авиационной промышленности – как сложнопрофильные, так и ажурные, тонкостенные и легкодеформируемые (типа пустотелых тонкостенных валов, колец направляющих аппаратов с просечками под лопатки, тонкостенных дисков ГТД и т.д. Рассматривая конструкцию оборудования для обработки данных деталей (рис. 4), необходимо заметить, что для их обработки также используются различные дополнительные устройства.

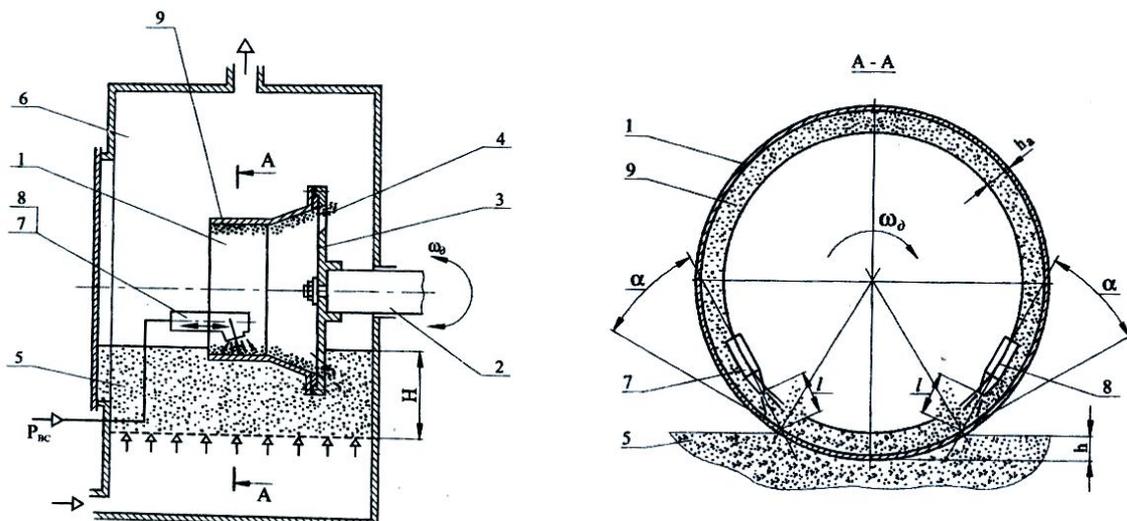


Рис. 4. Схема турбоабразивных установок модели АПС-350Б и АПС-600А для обработки вала ротора КВД:

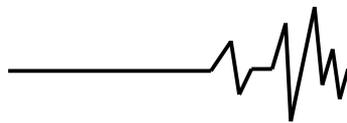
- 1 – обрабатываемый вал; 2 – шпиндель; 3 – специальная технологическая оснастка; 4 – окно для выхода абразива; 5 – слой абразива; 6 – рабочая камера; 7, 8 – сопла для подачи сжатого воздуха; 9 – слой абразивного зерна, скапливающегося на внутренней поверхности вала**

Таким образом, многообразие существующих моделей оборудования для ТАО с воплощенными в них различными конструктивными решениями показывает отсутствие универсальности данного оборудования для обработки широкой номенклатуры сложнопрофильных деталей, но отделочно-зачистная обработка этих деталей оказывается возможной лишь при использовании только данного метода обработки. Перенастройка его для конкретного изделия требует как проведения дополнительных исследований, так впоследствии изменения и в ряде случаев усложнения конструкции в целом. Очевидным становится необходимость анализа факторов, влияющих на эффективность процесса турбоабразивной обработки, для создания системных представлений данного способа обработки, позволяющих оценивать значимость того или иного фактора, в том числе и роли формы движущейся детали на процесс обработки, и найти пути решения, позволяющие повысить производительность процесса данной обработки без повышения его энергоемкости и, как следствие, без его удорожания.

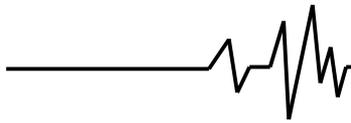
Данные исследования будут способствовать решению актуальной проблемы совершенствования и развития методов отделочно-зачистной обработки деталей в современном машиностроении.

Литература

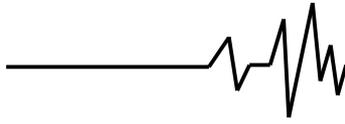
1. Карташов И. Н. Обработка деталей свободными абразивами в вибрирующих контейнерах / И.Н. Карташов, М.Е. Шаинский, В.А. Власов. – К.: Вища школа, 1975. – 188 с.
2. Кулаков Ю. М. Отделочно-зачистная обработка деталей / Ю.М. Кулаков, В.А. Хрульков – М.: Машиностроение, 1979. – 216 с.
3. Калмыков М. А. Повышение эффективности процесса вибрационной обработки крупногабаритных изделий: дис. ... канд. тех. наук: 05.03.01 / Калмыков Михаил Александрович. – Луганск, 2005. – 223 с.
4. Мосталыгин Г. П. Технология машиностроения / Мосталыгин Г.П., Толмачевский Н.Н. – М.: Машиностроение, 1990. – 288 с.
5. Воробей В.В. Технология производства жидкостных ракетных двигателей / В.В. Воробей, В.Б. Логинов – М.: Изд-во МАИ, 2001. – 496 с.
6. Бранспиз Е.В. Повышение эффективности виброабразивной обработки путем рационального выбора ее основных параметров: дис. ... канд. тех. наук: 05.03.01 / Бранспиз Елена Владимировна. – Луганск, 2001. – 265 с.
7. Машиностроение. Энциклопедия: в 40 т. / [Ред. совет: К.В. Фролов (пред.) и др.]. – М.: Машиностроение, 2000. – Т. 3: Технология изготовления деталей машин / А.М. Дальский, А.Г. Суслов, Ю.Ф. Назаров и др.; Под общ. ред. А.Г. Суслова. 2002. – 840 с.



8. Трилиссский В.О. Объемная центробежно-ротационная обработка деталей / В.О. Трилиссский, И.Е. Бурштейн, В.И. Алферов // Обзор. – М.: НИИМАШ, 1983. – 52 с.
9. Трилиссский В.О. Технология и оборудование для объемной центробежно-ротационной обработки деталей / В.О. Трилиссский, В.П. Вейнов, В.В. Панчурин – М., 1989. – 40 с.
10. Алексеев А.Г. Технология конструкционных материалов / А.Г. Алексеев – Санкт-Петербург: Политехника, 2005. – 597 с.
11. Чирков О.И. Совершенствование технологии шпиндельной центробежно-ротационной обработки деталей: Дис... канд. техн. наук: 05.02.08 / Чирков Олег Игоревич. – Пенза, 2005. – 197 с.
12. Зверовщиков А.В. Совершенствование технологии шпиндельной обработки деталей при уплотнении шлифовального материала внешним давлением: Дис... канд. техн. наук: 05.02.08 / Зверовщиков Анатолий Владимирович. – Пенза, 2004. – 270 с.
13. Богуслаев В.О. Технология производства авиационных двигателей: Ч. 3. Методы обработки деталей авиационных двигателей / В.О. Богуслаев, О.Я. Качан, Яценко В.К. та ін. – Запоріжжя: ВАТ «Мотор Січ», 2008. – 639 с.
14. Massarsky M. Turbo-abrasive machining and finishing / M. Massarsky, D. Davidson // Metal Finishing – 1997. – №95. – P. 29.
15. А.с. 534344 СССР, МКИ В 24 В 31/00. Способ обработки деталей свободным абразивом и устройство для его осуществления / Р.А. Лиждевой (СССР). – №866491/08; заявл. 20.11.63; опубл. 05.11.76, Бюл. №41.
16. А.с. 532515 СССР, В 24 С 1/00. Способ абразивной обработки деталей / З.И. Кремень, М.Л. Масарский и др. (СССР). – №2168358/08; заявл. 25.08.75; опубл. 25.10.76, Бюл. №39.
17. А.с. 700324 СССР, В 24 В 31/00. Способ обработки деталей свободным абразивом / И.М. Старобинец, В.Н. Мельгунов и др. (СССР). – №2626426/25-08; заявл. 12.06.78; опубл. 30.11.79, Бюл. №44.
18. А.с. 770760 СССР, В 24 В 31/00. Способ обработки деталей в псевдооживленном абразиве / В.М. Мигунов, А.И. Попенко (СССР). – №2761113/25-08; заявл. 03.05.79; опубл. 15.10.80, Бюл. №38.
19. А.с. 795903 СССР, В 24 В 31/00. Способ обработки деталей в кипящем слое псевдооживленного абразива / В.М. Мигунов, А.И. Попенко и П.В. Ширкевич (СССР). – №2740314/25-08; заявл. 23.03.79; опубл. 15.01.81, Бюл. №2.
20. А.с. 810456 СССР, В 24 В 31/00. Способ обработки деталей в псевдооживленном абразиве и устройство для его осуществления / А.И. Попенко, А.И. Ковган, В.М. Мигунов и Л.Т. Фоменко (СССР). – №2772224/25-08; заявл. 31.05.79; опубл. 07.03.81, Бюл. №9.
21. А.с. 846243 СССР, В 24 В 31/00. Способ обработки деталей в псевдооживленном абразиве / В.М. Мигунов, А.И. Попенко и В.И. Руднев (СССР). – №2843542/25-08; заявл. 28.09.79; опубл. 15.07.81, Бюл. №26.
22. А.с. 848310 СССР, В 24 В 31/00. Способ обработки деталей в «кипящем» слое абразива / А.И. Попенко, В.М. Мигунов и А.И. Ковган (СССР). – №2822561/25-08; заявл. 26.09.79; опубл. 23.07.81, Бюл. №27.
23. А.с. 848313 СССР, В 24 В 31/00. Способ обработки в псевдооживленном абразиве / В.М. Мигунов, А.И. Попенко и И.В. Семенченко (СССР). – №2826125/25-08; заявл. 10.10.79; опубл. 23.07.81, Бюл. №27.
24. А.с. 848314 СССР, В 24 В 31/00. Способ обработки в псевдооживленной среде и устройство для его осуществления / В.М. Мигунов (СССР). – №2826170/25-08; заявл. 11.10.79; опубл. 23.07.81, Бюл. №27.
25. А.с. 861025 СССР, В 24 В 31/00. Способ обработки деталей свободным абразивом и устройство для его осуществления / А.И. Попенко, В.М. Мигунов (СССР). – №2826096/25-08; заявл. 10.10.79; опубл. 07.09.81, Бюл. №33.
26. А.с. 861026 СССР, В 24 В 31/00. Способ обработки деталей в псевдооживленном абразиве и устройство для его осуществления / А.И. Попенко, В.М. Мигунов (СССР). – №2832945/25-08; заявл. 29.10.79; опубл. 07.09.81, Бюл. №33.
27. А.с. 867617 СССР, В 24 В 31/00. Способ обработки деталей в свободном абразиве и устройство для его осуществления / В.М. Мигунов, Г.Н. Зацепин, А.Я. Качан и А.И. Попенко (СССР). – №2894836/25-08; заявл. 18.03.80; опубл. 30.09.81, Бюл. №36.
28. А.с. 455838 СССР, МКИ В 24 В 31/10. Устройство для обработки изделий, использующее процесс псевдооживления / П.Г. Чекулаев, И.М. Косогор, Н.А. Парфенова и Б.А. Анкудинов; Всесоюзный научно-исследовательский и проектный институт тугоплавких металлов и твердых сплавов (СССР). – №1888887/25-8; заявл. 02.03.73; опубл. 05.01.75, Бюл. №1.
29. А.с. 643304 СССР, МКИ В 24 В 31/00. Газораспределительная решетка / З.И. Кремень, М.Л. Масарский, С.М. Федотова, А.Я. Зецеров и Б.Н. Ардашников (СССР). – №2540888/25-08; заявл. 09.11.77; опубл. 25.01.79, Бюл. №3.
30. А.с. 686852 СССР, МКИ В 24 В 31/00. Устройство для абразивной обработки деталей / А.Т. Есаулов, Г.А. Блажнов, В.И. Ковтун М.В.



- Кузьмичев и др. (СССР). – №2326554/25-08; заявл. 23.02.76; опубл. 25.09.79, Бюл. №35.
- 31.А.с. 768610 СССР МКИ В 24 В 31/00. Устройство для обработки деталей в псевдооживленном абразиве / А.И. Попенко, В.М. Мигунов, П.В. Ширкевич и А.И. Ковган (СССР). – №2751019/25-08; заявл. 17.04.79; опубл. 07.10.80, Бюл. №37.
- 32.А.с. 768611 СССР, В 24 В 31/00. Устройство для обработки деталей в псевдооживленном абразиве / В.М. Мигунов, П.В. Ширкевич и А.И. Попенко (СССР). – №2758054/25-08; заявл. 26.04.79; опубл. 07.10.80, Бюл. №37.
- 33.А.с. 779037 СССР, МКИ В 24 В 31/00. Устройство для обработки деталей в псевдооживленном абразиве / А.И. Попенко, В.М. Мигунов, П.В. Ширкевич и А.И. Ковган (СССР). – №2670381/25-08; заявл. 29.09.78; опубл. 15.11.80, Бюл. №42.
- 34.А.с. 795902 СССР, В 24 В 31/00. Устройство для абразивной обработки деталей / Ю.М. Ерофеев, А.И. Попенко, А.И. Ковган и В.М. Мигунов (СССР). – №2619982/25-08; заявл. 29.05.78; опубл. 15.01.81, Бюл. №2.
- 35.А.с. 818828 СССР, МКИ В 24 В 31/00. Устройство для обработки деталей свободным абразивом / И.М. Старобинец, А.И. Хаданович и др. (СССР). – №2663114/25-08; заявл. 15.09.78; опубл. 07.04.81, Бюл. №13.
- 36.А.с. 837799 СССР, В 24 В 31/00. Устройство для обработки деталей в псевдооживленной среде / А.И. Попенко, В.М. Мигунов, С.Д. Зиличихис и В.И. Ной (СССР). – №2750576/25-08; заявл. 03.05.79; опубл. 15.06.81, Бюл. №22.
- 37.А.с. 848311 СССР, В 24 В 31/00. Устройство для обработки деталей в псевдооживленном абразивом / В.М. Мигунов, А.И. Попенко и П.В. Ширкевич (СССР). – №2826014/25-08; заявл. 10.10.79; опубл. 23.07.81, Бюл. №27.
- 38.А.с. 848312 СССР, В 24 В 31/00. Устройство для обработки деталей в псевдооживленном абразивом / А.И. Попенко, В.М. Мигунов, В.Н. Пшеничный и Л.Т. Фоменко (СССР). – №2826122/25-08; заявл. 10.10.79; опубл. 23.07.81, Бюл. №27.
- 39.А.с. 848315 СССР, В 24 В 31/00. Устройство для обработки деталей в псевдооживленном абразивом / Л.Т. Фоменко, А.И. Попенко, В.М. Мигунов и П.В. Ширкевич (СССР). – №2829374/25-08; заявл. 18.10.79; опубл. 23.07.81, Бюл. №27.
- 40.А.с. 852509 СССР, В 24 В 31/00. Устройство для обработки деталей абразивом / А.И. Попенко и В.М. Мигунов (СССР). – №2821578/25-08; заявл. 26.09.79; опубл. 07.08.81, Бюл. №29.
- 41.А.с. 852510 СССР, В 24 В 31/00. Устройство для обработки деталей в псевдооживленном абразиве / А.И. Попенко, В.М. Мигунов и И.В. Семенченко (СССР). – №2829387/25-08; заявл. 18.10.79; опубл. 07.08.81, Бюл. №29.
- 42.А.с. 859123 СССР, В 24 В 31/00. Устройство для обработки деталей в псевдооживленном абразиве / В.М. Мигунов, А.И. Попенко (СССР). – №2848408/25-08; заявл. 07.12.79; опубл. 30.08.81, Бюл. №32.
- 43.А.с. 859124 СССР, В 24 В 31/00. Устройство для обработки деталей в псевдооживленном абразиве / А.И. Попенко, В.М. Мигунов, Л.Т. Масюк, Л.И. Танцюра и В.М. Ермолаев (СССР). – №2850268/25-08; заявл. 12.12.79; опубл. 30.08.81, Бюл. №32.
- 44.А.с. 861024 СССР, В 24 В 31/00. Устройство для обработки деталей в псевдооживленном абразиве / А.И. Попенко, В.М. Мигунов, А.И. Ковган и П.В. Ширкевич (СССР). – №2819869/25-08; заявл. 21.09.79; опубл. 07.09.81, Бюл. №33.
- 45.А.с. 867616 СССР, В 24 В 31/00. Устройство для обработки деталей свободным абразивом / В.М. Мигунов, Г.Н. Зацепин, А.Я. Качан и А.И. Ковган (СССР). – №2894781/25-08; заявл. 18.03.80; опубл. 30.09.81, Бюл. №36.
- 46.А.с. 867618 СССР, В 24 В 31/00. Устройство для обработки деталей в свободном абразиве / В.М. Мигунов, Г.Н. Зацепин и А.Я. Качан (СССР). – №2895102/25-08; заявл. 18.03.80; опубл. 30.09.81, Бюл. №36.
- 47.А.с. 872215 СССР, В 24 В 31/00. Устройство для обработки деталей в псевдооживленном абразиве / А.И. Попенко, В.М. Мигунов и Л.Т. Фоменко (СССР). – №2838650/25-08; заявл. 13.11.79; опубл. 15.10.81, Бюл. №38.
- 48.А.с. 872216 СССР, В 24 В 31/00. Устройство для обработки деталей в псевдооживленном абразиве / В.М. Мигунов и А.И. Попенко (СССР). – №2838722/25-08; заявл. 15.11.79; опубл. 15.10.81, Бюл. №38.
- 49.А.с. 874315 СССР, В 24 В 31/00. Устройство для абразивной обработки деталей / Л.Т. Фоменко, В.М. Мигунов, А.И. Попенко и А.И. Ковган (СССР). – №2766986/25-08; заявл. 17.05.79; опубл. 23.10.81, Бюл. №39.
- 50.А.с. 876386 СССР, В 24 В 31/00. Устройство для обработки деталей в псевдооживленном абразиве / Л.Т. Фоменко, А.И. Попенко и В.М. Мигунов (СССР). – №2871978/25-08; заявл. 21.01.80; опубл. 30.10.81, Бюл. №40.
- 51.А.с. 931405 СССР, В 24 В 31/00. Устройство для обработки деталей свободным абразивом / А.И. Попенко, В.М. Мигунов и П.В. Ширкевич (СССР). – №2988878/25-08; заявл. 08.10.80; опубл. 30.05.82, Бюл. №20.



- 52.А.с. 979089 СССР, В 24 В 31/00. Устройство для обработки в псевдооживленном абразивном слое / Г.П. Сугак, М.П. Марутян, Н.Н. Дорожкин и В.Е. Маджуга (СССР). – №3213996/25-08; заявл. 10.12.80; опубл. 07.12.82, Бюл. №45.
- 53.А.с. 1009727 СССР, В 24 В 31/00. Устройство для обработки деталей в псевдооживленном абразиве / Л.Т. Фоменко, А.И. Попенко, В.М. Мигунов и А.И. Ковган (СССР). – №2985045/25-08; заявл. 05.12.80; опубл. 07.04.83, Бюл. №13.
- 54.А.с. 1248773 СССР, В 24 В 31/00. Газораспределительная решетка устройства для обработки деталей в кипящем слое абразива / В.Н. Анциферов, А.М. Беклемышев, А.П. Куневич, О.П. Кощеев и др. (СССР). – №3806653/25-08; заявл. 18.07.84; опубл. 07.08.86, Бюл. №29.
- 55.А.с. 1252140 СССР, В 24 В 31/00. Устройство для обработки деталей в псевдооживленном абразиве / А.А. Бульчев и Е.А. Бульчев (СССР). – №3689126/25-08; заявл. 28.10.83; опубл. 23.08.86, Бюл. №31.
- 56.А.с. 1514577 СССР, В 24 В 31/10. Устройство для турбоабразивной обработки / Ю.Н. Дубинчук, Б.Н. Бирюков, А.Н. Ильин и др. (СССР). – №4382983/25-08; заявл. 11.01.88; опубл. 15.10.89, Бюл. №38.
- 57.А.с. 1641589 СССР, В 24 В 31/10. Устройство для турбоабразивной обработки / Ю.Н. Дубинчук, И.М. Старобинец, Ю.А. Шалашов др. (СССР). – №4359729/08; заявл. 07.01.88; опубл. 15.04.91, Бюл. №14.
- 58.А.с. 1717322 СССР, В 24 В 31/10. Устройство для обработки деталей в псевдооживленном абразиве / А.В. Андрюков и В.Н. Тиунов (СССР). – №4748425/08; заявл. 12.10.89; опубл. 07.03.92, Бюл. №9.
- 59.А.с. 1798135 СССР, В 24 В 31/10. Устройство для обработки деталей свободным абразивом / Е.Г. Кисель, Г.И. Васин и В.А. Магин (СССР). – №4828750/08; заявл. 06.04.90; опубл. 28.02.93, Бюл. №8.
- 60.Кремень З.И. Турбоабразивная обработка деталей – новый способ финишной обработки / З.И.Кремень, М.Л. Масарский // Вестник машиностроения. – 1977. – №28. – С. 68 - 70.
- 61.Кремень З.И. Исследование износа металлов в кипящем слое абразивных частиц / З.И. Кремень, М.Л. Масарский // Износ материалов при ударном воздействии твердых частиц. – М.: ИМАШ, 1976. – С. 51 - 52.
- 62.Массарский М.Л. Повышение эффективности отделочной абразивной обработки деталей сложного профиля на основе разработки и внедрения нового технологического способа – турбоабразивной обработки: автореф. дис... канд. техн. наук: 05.02.08 / Массарский Моисей Липович – Саратов, 1989. – 27 с.
- 63.Кремень З.И. Турбоабразивная обработка деталей – высокоэффективный технологический процесс финишной обработки металлов / З.И. Кремень, М.Л. Масарский // В сб. научно-технического симпозиума Международной выставки «Металлообработка 89». – М., 1989. – С. 3 - 7.
- 64.Кремень З.И. Турбоабразивная обработка деталей сложного профиля: Метод. рекомендации // Кремень З.И., Массарский М.Л., Гузель В.З. – М.: ВНИИТЭМР, 1987. – с.53
- 65.Рыбаков В.К. Разработка и внедрение процесса турбоабразивной обработки штампованных деталей сложного профиля / В.К. Рыбаков, Ю.А. Шульц // Труды Всесоюзного научно-технического семинара «Турбоабразивная обработка деталей сложного профиля». – Ленинград. – 1987. – С. 15-16.
- 66.Медведев Б.Я. опыт внедрения турбоабразивной обработки деталей газотурбинных двигателей / Б.Я. Медведев, В.Ф. Макаров // Труды Всесоюзного научно-технического семинара «Турбоабразивная обработка деталей сложного профиля». – Ленинград. – 1987. – С. 11-13.
- 67.Массарский М.Л. Турбоабразивная обработка алмазных отрезных дисков / М.Л. Массарский, В.О. Кирищан, Д.Г. Нерсесян // Труды Всесоюзного научно-технического семинара «Турбоабразивная обработка деталей сложного профиля». – Ленинград. – 1987. – С. 3-8.
- 68.Крупин В.М. Турбоабразивная обработка деталей токарных многошпиндельных автоматов / В.М. Крупин, В.И. Целих, Г.П. Селиверстов // Труды Всесоюзного научно-технического семинара «Турбоабразивная обработка деталей сложного профиля». – Ленинград. – 1987. – С. 13-15.
- 69.Астахов В.И. Механизация операций снятия заусенцев и скругления кромок на деталях нежесткой конструкции способом турбоабразивной обработки / В.И. Астахов и др. // Труды Всесоюзного научно-технического семинара «Турбоабразивная обработка деталей сложного профиля». – Ленинград. – 1987. – С. 18-19.
- 70.Чукалин Ю.Ф. о возможности турбоабразивной обработки гребных винтов / Чукалин Ю.Ф. и др. // Труды Всесоюзного научно-технического семинара «Турбоабразивная обработка деталей сложного профиля». – Ленинград. – 1987. – С. 31-32.