

УДК 621.9.048

Л.М. ЛУБЕНСКАЯ, Л.Д. МЕЛКОНОВ, Е.В. НЕЧАЙ

*Восточноукраинский национальный университет имени Владимира Даля, Украина*

## К ВОПРОСУ ОБОСНОВАНИЯ ВЫБОРА МЕТОДА ОТДЕЛОЧНО-ЗАЧИСТНЫХ ОПЕРАЦИЙ

*Рассмотрены вопросы, связанные с выбором оборудования для отделочно-зачистных операций. Показано, что шпиндельная и комбинированная шпиндельная обработка деталей на станках без жесткой кинематической связи между инструментом, обрабатываемой деталью и оборудованием на сегодняшний день является перспективным методом финишной обработки, развитие которых сдерживается в связи с отсутствием системных теоретических и экспериментальных исследований. Приведены сравнительные результаты по обработке деталей предлагаемым методом и обработке в вибрирующем U-образном контейнере.*

**Ключевые слова:** *отделочно-зачистные операции, оборудование без жесткой кинематической связи в системе СПИЗ, вибрационная обработка, шпиндельная обработка, съем металла.*

### Введение

Сегодняшний уровень развития авиа-, приборостроения предъявляет все более высокие требования к технологии изготовления деталей и изделий, к их качеству, которое в значительной степени определяется эффективностью отделочных операций.

Несмотря на значительный прорыв в технологии механической обработки деталей, доля отделочно-зачистных операций (ОЗО) в процессе всего изготовления изделий по-прежнему остается достаточно высокой (более 10 – 20 % [1]), что вызывает необходимость совершенствования и разработки новых методов ОЗО, отличающихся высокой производительностью, экономичностью и высоким уровнем механизации и автоматизации.

Современная авиационная промышленность требует высокопроизводительных методов как для предварительной, так и окончательной обработок поверхностей.

### 1. Постановка проблемы

Отделочно-зачистная обработка поверхностей всегда характеризовалась как высокотрудоемкая и кропотливая работа. В настоящее время имеется довольно широкий выбор различных методов для осуществления отделочных операций и соответствующего им оборудования. Стремление увеличить производительность при уменьшении себестоимости продукции привело к созданию новых высокопроизводительных методов обработки. В связи с этим традиционные методы все чаще вытесняются

альтернативными, например, с применением оборудования без жесткой кинематической связи в системе СПИЗ, такими, как абразивно-жидкостная и магнитно-абразивная обработка, вибрационная обработка и ее разновидности, обработка уплотненным потоком абразивных частиц, центробежно-ротационная и т.п. [2]. Каждый из перечисленных методов имеет свои преимущества и недостатки.

Одним из важнейших показателей качества поверхности является шероховатость поверхности. Следует отметить, что при одинаковых величинах шероховатости, поверхности, обработанные различными методами, в условиях эксплуатации ведут себя по-разному [3]. Это объясняется получаемым в процессе обработки микрорельефом, который различный для каждого вида обработки. Поэтому и выбор метода окончательной механической обработки является немаловажным.

### Вибрационная обработка

Одним из прогрессивных методов обработки является виброобработка. Она получила большое распространение благодаря своим широким технологическим возможностям и высокой производительности. Сущность этого метода заключается в следующем.

Обрабатываемые детали загружаются в рабочую камеру «внавал» и перемещаются вместе с абразивной средой по определенному закону. Вследствие относительных скоростей детали и абразивных гранул, создаваемых вибрацией рабочей камеры, происходит интенсивный съем мельчайших частиц металла с обрабатываемой поверхности.

Таким способом обрабатывают детали различной геометрической формы и сравнительно небольших габаритов, которые не имеют склонности к деформированию, а, следовательно, есть ограничения по обработке хрупких и крупногабаритных деталей.

Схема обработки «внавал» наиболее полно изучена. Установлены закономерности движения рабочей среды, характер съема металла, а также влияние такой обработки на физико-механические и эксплуатационные показатели обработанных деталей. Однако, несмотря на множество положительных качеств, метод вибрационной обработки со свободной загрузкой деталей может оказаться неудовлетворительным по ряду причин: условия производства могут требовать равномерного поступления деталей мелкими партиями или поштучно; возможностью повреждения деталей, обработанных с высокой точностью и высоким классом шероховатости поверхности; невозможностью обработать труднодоступные поверхности; невозможностью получения высоких классов шероховатости с соблюдением каких-либо частных условий [2]. Особенно становится проблематична обработка достаточно крупногабаритных и массивных деталей. Это происходит за счет неравномерного перемешивания деталей в контейнере, обусловленного принципом работы данного оборудования и может привести к их соударению и неравномерной обработке. Поэтому возникает необходимость, сохранив преимущества, свойственные вибрационному методу, в использовании нового метода – шпиндельной обработки. Это касается и ответственных деталей летательных аппаратов и их двигателей, например, лопаток турбин.

Большая и разнообразная номенклатура деталей привела к необходимости применения специальных приспособлений, что позволило расширить технологические возможности применения оборудования без жесткой кинематической связи.

### Шпиндельная обработка

Наибольшие затруднения вызывает обработка поверхностей, имеющих сложный профиль. Специфические требования к качеству их отделки, технологические и организационные особенности производства послужили причиной создания нового эффективного метода финишной обработки в среде свободного абразива – шпиндельной обработки [3, 4, 5]. Появилась необходимость в выборе деталей, нуждающихся в шпиндельной обработке. К таким деталям относятся изделия сложной формы независимо от массы и жесткости, в том числе и с резкими перепадами размеров, где достаточно сложно подобрать размер гранулы при вибрационной обработке «внавал». Работа с использованием метода шпин-

дельной обработки позволяет использовать инструмент – рабочие среды, который в процессе движения повторяет контур обрабатываемых деталей.

Широкие технологические возможности шпиндельной обработки в сочетании с высокой эффективностью ставят этот метод в число актуальных и перспективных методов отделочной обработки деталей. Он получил широкое развитие в таких странах, как Германия, США, Англия, Франция и ряде других стран с развитой промышленностью [6, 7, 8].

Как уже указывалось, метод шпиндельной обработки деталей в абразивной среде может быть использован для механической обработки сложных и точных деталей из разнообразных материалов, таких как кольца подшипников качения, шестерни и звездочки, червяки, винты, шкивы, режущие инструменты, лопатки турбин, имплантанты и др. [3, 9] (рис. 1).

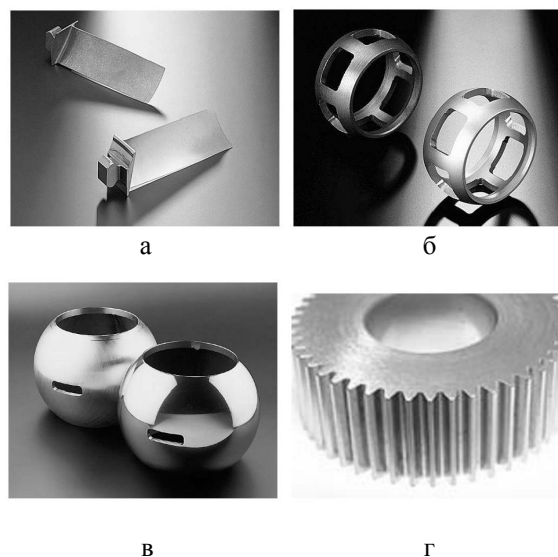


Рис. 1. Примеры обрабатываемых деталей из различных отраслей промышленности [6, 7]:

- а – лопатки турбин;
- б – сепараторы шаровых шарниров;
- в – клапаны шариковых кранов;
- г – зубчатые колеса

Оборудование для реализации данного метода отличается простотой эксплуатации. Важной особенностью кинематики процесса являлась возможность использования сверлильных, радиально-сверлильных и агрегатных станков в качестве привода главного и дополнительного движений детали. Именно модернизация этих станков с агрегатированием со станками для виброобработки привела к появлению первых станков для комбинированной шпиндельной обработки в среде свободного абразива, что позволило свести к минимуму затраты на освоение нового производительного метода ОЗО и

значительно расширило номенклатуру обрабатываемых деталей.

Преимуществом оборудования данного класса стало сокращение времени обработки, которое тратилось на обработку ранее.

Для проведения обработки заготовки устанавливаются на специальных зажимных приспособлениях, закрепленных в шпинделе, который вращается с заданной скоростью и погружается в рабочую камеру с наполнителем. Вследствие высоких относительных скоростей детали и наполнителя, создаваемых вращением шпинделя и рабочей камеры, происходит интенсивный съем мельчайших частиц металла с обрабатываемой поверхности [3].

Главное преимущество этого процесса – удаление заусенцев, скругление острых кромок, а также полировка заготовок за достаточно короткий промежуток времени без опасности повреждения заготовок.

Вращение карусели и вращательное движение шпинделей обеспечивают равномерную обработку деталей. Возможность изменения глубины погружения и скорости вращательного движения позволяют достигать съема материала почти в 40 раз большего, чем при виброобработке [6].

Данный метод, по мнению создателей этого оборудования, совмещает качество обработки и высокую производительность.

Немаловажным фактором, влияющим на выбор данного оборудования, является возможность осуществления пакетной и многошпиндельной обработки (рис. 2).

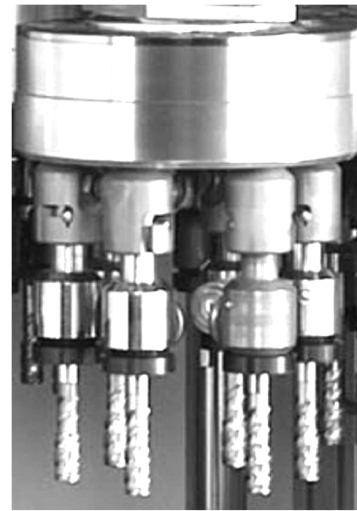


Рис. 2. Многошпиндельная обработка деталей в среде свободного абразива [7]

Достоинства этого метода предопределили создание достаточно разнообразного оборудования для шпиндельной обработки деталей в среде свободного абразива. Наиболее распространенные способы шпиндельной обработки представлены на рис. 3.

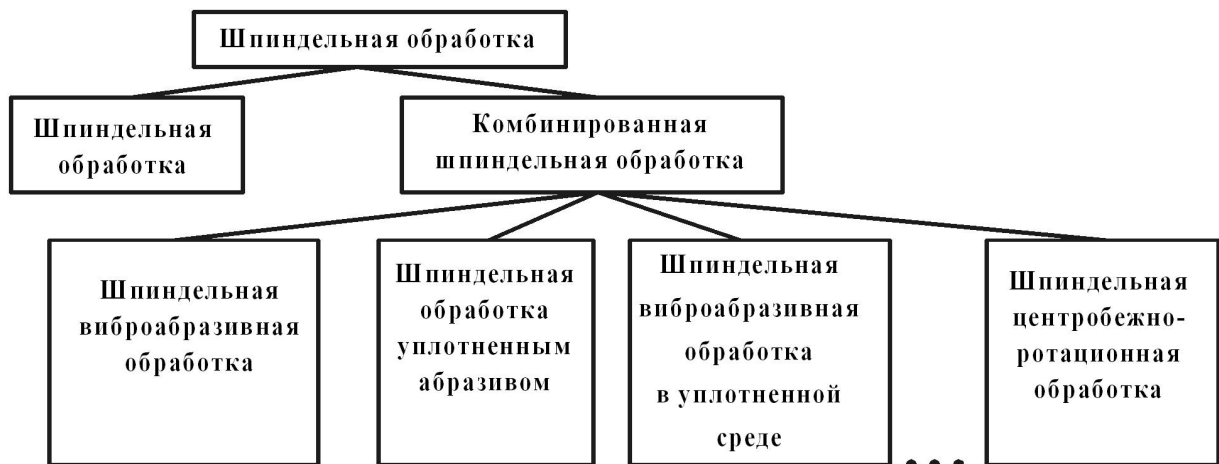


Рис. 3. Способы шпиндельной обработки деталей в среде свободного абразива

Комбинированные методы шпиндельной обработки в среде свободного абразива частично освещены в литературе [3, 4, 5, 9]. Шпиндельная обработка в чистом виде является, как ни странно, следствием комбинированной шпиндельной обработки. В связи с невозможностью вибрационной обработки некоторых деталей «внавал», в рабочую камеру устанавливались различные приспособления. Однако

недостаточно высокая производительность привела к отказу от вибрационной обработки и созданию нового метода – шпиндельной обработки в среде свободного абразива. Поэтому неудивительно, что шпиндельная обработка в чистом виде изучена не в достаточной мере, что, соответственно, не дает возможности для более полного изучения комбинированных методов.

В работе [3] были сделаны попытки выявления закономерностей между варьируемыми факторами процесса шпиндельной виброабразивной обработки на формирование качества поверхности и производительности.

Отсутствие взаимосвязи между динамическими и кинематическими характеристиками станка, отсутствие рекомендаций по выбору формы рабочей камеры и характеристик рабочих сред, о которых говорилось выше, не позволили в полной мере оценить исследуемый процесс, что ограничило возможность дальнейшего широкого промышленного использования этого высокопроизводительного метода.

Автор [3] считает, что изменение скорости вращения камеры позволяет получить поток различной плотности, заставляя массу абразивного наполнителя вести себя подобно вязкой жидкости, либо образовывать жесткий каркас, аналогичный расположению зерен в связанном абразивном инструменте, однако производители современного оборудования не дают рекомендаций по выбору наполнителя, его грануляции и увлажненности, по выбору режимов обработки, ограничиваясь лишь краткими техническими характеристиками оборудования, достаточно противоречивыми [6, 7, 8].

Некоторые из схем для осуществления шпиндельной и комбинированной шпиндельной обработки приведены на рис. 4.

## 2. Результаты исследований

Как уже упоминалось, в настоящее время в отечественной и зарубежной литературе практически отсутствуют системные теоретические и экспериментальные исследования процесса шпиндельной обработки в среде свободного абразива. Взаимосвязь между режимами обработки и физико-механическими свойствами поверхностных слоев обрабатываемых деталей устанавливается в каждом конкретном случае опытным путем [3, 6], что затрудняет применение этого метода в производственных условиях и обуславливает необходимость дальнейшего проведения комплексных исследований.

Уже первые экспериментальные исследования, проведенные в НИЛ ОСА ВУУ им. В. Даля (рис. 5), как и данные, приведенные Ростовской школой [3], активно занимающейся обработкой деталей в свободном абразиве, показали преимущество применения шпиндельной обработки по сравнению с вибрационной обработкой в U-образном контейнере, а именно: получение более высоких классов чистоты за более короткий промежуток времени (на 3 класса); достижение блеска и отражательной способности без применения химических растворов; увеличение количественного съема металла с единицы площади за более короткий промежуток времени, а именно, сокращение времени обработки на 40...60%.

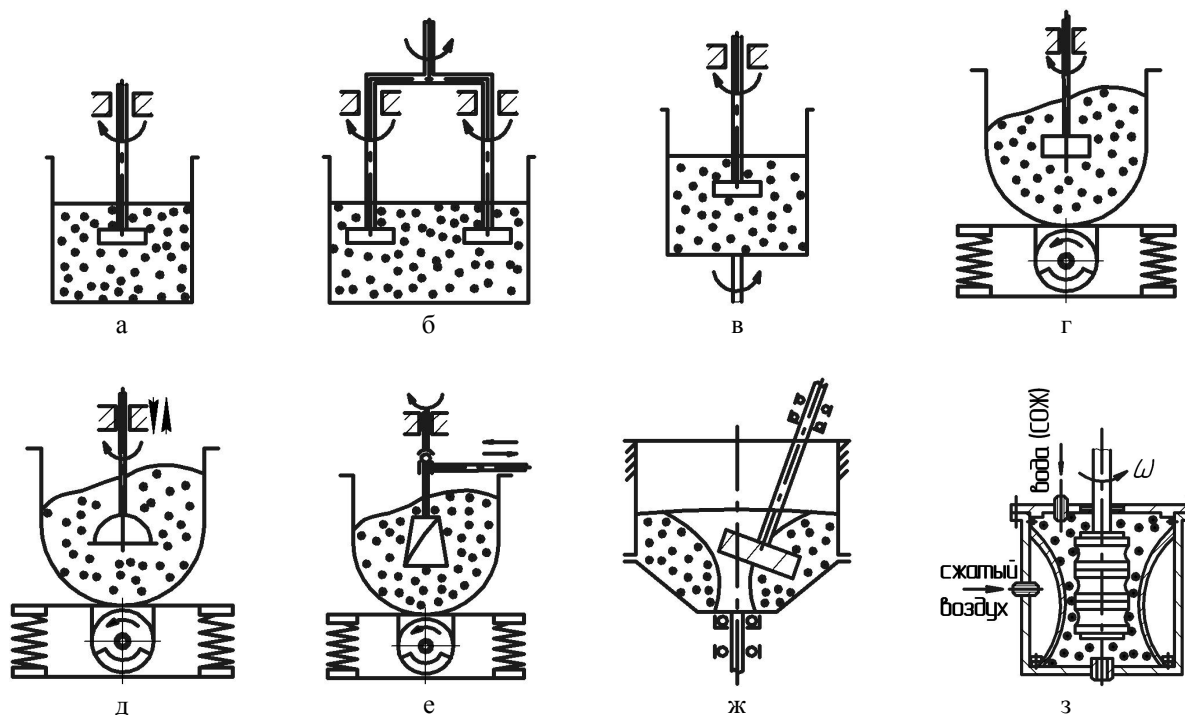


Рис. 4. Некоторые схемы комбинированной шпиндельной обработки:

а – в – шпиндельная обработка в чистом виде; г – е – шпиндельная вибрационная обработка; ж – шпиндельная центробежно-ротационная обработка; з – шпиндельная обработка уплотненным абразивом

Экспериментальные исследования проводились на промышленном вибрационном станке модели УВИ-25 и лабораторной установке Л25.

В качестве объектов исследований использовались полые цилиндры из медно-цинкового сплава марки ЛС 59-1Л ГОСТ 2060-73 со следующим химическим составом: 0,97 % Pb, 58,52 % Cu, прочее – Zn.

При проведении экспериментальных исследований контролируемым параметром, характеризующим производительность процесса, выбран съём металла с поверхностей обрабатываемых образцов. Съём металла оценивался путем взвешивания образцов до и после обработки на аналитических весах типа ВЛА-200М с точностью до 0,0002 грамма.

Условия, принятые при проведении исследований, приведены в табл. 1.

Таблица 1

Условия, принятые при проведении исследований

	УВИ-25	Л-25
Объем рабочей камеры, л	25	25
Рабочая среда	формокорунд - цилиндр Ø2×5...8 мм	формокорунд - цилиндр Ø2×5...8 мм
Режимы обработки	амплитуда A=1,5 мм, частота $\omega = 50$ Гц	Частота вращения шпинделя $\omega_{шп} = 800$ мин <sup>-1</sup>
Время обработки, мин	60	45

На основании результатов, полученных при проведении эксперимента, был построен график, отображающий зависимость съема металла от времени обработки образцов (рис. 5).

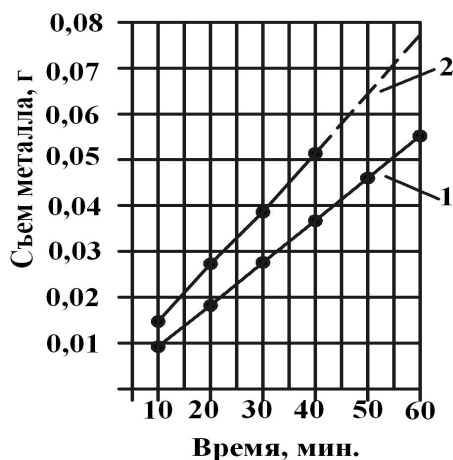


Рис. 5. График зависимости съема металла с поверхностей образцов от времени:  
1 – обработка деталей на УВИ-25;  
2 – обработка деталей на Л-25

## Заключение

Сказанное позволяет сделать вывод о целесообразности дальнейших исследований процесса шпиндельной обработки, связанных с выбором формы рабочей камеры; созданием равномерного давления во всех зонах по высоте; с выбором скорости вращения шпинделя и, в случае необходимости, скорости вращения рабочей камеры в противоположном направлении; грануляции рабочей среды и ее вязкости путем увлажнения или введения поверхностно-активных веществ и изучением получаемого микрорельефа поверхности.

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

## Литература

1. Міцик А.В. Підвищення ефективності обробки великогабаритних плоскісних виробів активізацією руху робочого середовища у коливних «U»-подібних контейнерах: автореф. дис... канд. техн. наук: 05.03.01 / Міцик Андрій Володимирович; Національний технічний ун-т "Харківський політехнічний ін-т". – Х., 2008. – 20 с.
2. Калмиков М.О. Підвищення ефективності процесу вібраційної обробки великогабаритних виробів: автореф. дис... канд. техн. наук: 05.03.01 / Калмиков Михайло Олександрович; Національний технічний ун-т "Харківський політехнічний ін-т". – Х., 2006. – 20 с.
3. Бабичев А.П. Основы вибрационной технологии / А.П. Бабичев, И.А. Бабичев. – Ростов н/Д: Издательский центр ДГТУ, 2008. – 694 с.
4. Милосердов С.К. Повышение интенсивности процесса шпиндельной вибрационной обработки за счет уплотнения рабочей среды / С.К. Милосердов // Вопросы вибрационной технологии: межвуз. сб. науч. статей. – Ростов н/Д: ДГТУ, 2001. – С. 36-38.
5. Бабичев А.П. Некоторые закономерности метода шпиндельной виброотделки в уплотненной среде / А.П. Бабичев, С.К. Милосердов, В.Г. Санамян // Вопросы вибрационной технологии: межвуз. сб. науч. статей. – Ростов н/Д: ДГТУ, 2002. – С. 47-50.
6. ROSLER finding a better way... [Электронный ресурс]: Vibratory Finishing/ Drag Finishing Machines. – Режим доступа к ресурсу: [http://www.rosler.com/www\\_roversler2004/drag\\_finishing\\_machines\\_742\\_128\\_0\\_f.htm](http://www.rosler.com/www_roversler2004/drag_finishing_machines_742_128_0_f.htm), свободный. – Загл. с экрана.
7. Willkommen bei OTEC [Электронный ресурс]: Schleppfinishanlagen/Serie DF 5/6 Tools. – Режим доступа к ресурсу: [http://www.otec.de/typo3cms/serie\\_df\\_5\\_6\\_tools.html](http://www.otec.de/typo3cms/serie_df_5_6_tools.html), свободный. – Загл. с экрана.
8. WALTHER TROWAL! [Электронный ресурс]: Produkte/Gleitschleiftechnik/Schleppschleifanlagen. – Режим доступа к ресурсу: <http://www.walther->

trowal.de/produkte/gleitschleiftechnik/schleppschleifanlagen/, свободный. – Загл. с экрана.

9. Чирков О.И. Совершенствование технологии шпиндельной центробежно-ротационной обработ-

ки деталей: автореф. дис... канд. техн. наук: 05.02.08 / Чирков Олег Игоревич; Пензенский гос. ун-т. – Пенза, 2005. – 19 с.

Поступила в редакцию 2.03.2009

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф., зав. каф. «Прикладная и теоретическая механика» В.А. Витренко, Восточноукраинский национальный университет имени Владимира Даля, Луганск.

#### ДО ПИТАННЯ ОБГРУНТУВАННЯ ВИБОРУ МЕТОДУ ОЗДОБЛЮВАЛЬНО-ЗАЧИСТНИХ ОПЕРАЦІЙ

*Л.М. Лубенська, Л.Д. Мелконов, О.В. Нечай*

Розглянуті питання, пов'язані з вибором устаткування для оздоблювально-зачисних операцій. Показано, що шпіндельна і комбінована шпіндельна обробка деталей на верстатах без жорсткого кінематичного зв'язку між інструментом, оброблювальною деталлю і устаткуванням на сьогоднішній день є перспективним методом фінішної обробки, розвиток яких стримується у зв'язку з відсутністю системних теоретичних і експериментальних досліджень. Приведені порівняльні результати по обробці деталей пропонуваним методом і обробці у віброуючому U-подібному контейнері.

**Ключові слова:** оздоблювально-зачисні операції, устаткування без жорсткого кінематичного зв'язку в системі верстат-прилад-інструмент-заготівля, вібраційна обробка, шпіндельна обробка, зняття металу.

#### TO QUESTION OF THE JUSTIFICATION OF THE CHOICE OF THE METHOD FINISHING-AND-SKINNING OPERATIONS

*L.M. Lubenskaya, L.D. Melkonov, E.V. Nechaj*

The considered questions connected with choice of the equipment for finishing-and-skinning operations. It is shown, that spindle and combined spindle processing on machine-tools without hard kinematics connection between a tool, workpiece and equipment in different abrasive mediums are perspective method of finish treatment of details, which development is restrained with absence of system of theoretical and experimental researches. The comparative results are brought on processing the details proposed by method and processing in vibrating U-shaped container.

**Key words:** finishing-and-skinning operations, equipment without hard kinematics connection in the system of machine tool- device- tool- workpiece, vibration treatment, spindle treatment, output of metal.

**Лубенская Людмила Михайловна** – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры «Технология машиностроения», Восточноукраинский национальный университет им. В. Даля, Луганск, Украина.

**Мелконов Леонид Дмитриевич** – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры «Легкая и пищевая промышленность», Восточноукраинский национальный университет им. В. Даля, Луганск, Украина.

**Нечай Елена Владимировна** – аспирант кафедры «Технология машиностроения», Восточноукраинский национальный университет им. В. Даля, Луганск, Украина. e-mail: elenanechaj@yandex.ru.