

УДК 621.9.048

ПОВЫШЕНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ВИБРАЦИОННОЙ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ

Шумакова Т.А., Николаенко А.П., Романченко А.В., Таванюк Т.Я.

INCREASE OF PERFORMANCE OF TECHNOLOGICAL PROCESSES OF VIBRATION TREATMENT OF DETAILS

Shumakova T.A., Nikolaenko A.P., Romanchenko A.V., Tavanyuk T.Y.

В статье проведен анализ известных классификаторов деталей, подлежащих обработке на станках без жесткой кинематической связи. Приведены рекомендации по выбору параметров процесса вибрационной обработки в зависимости от размеров, формы, материала и исходного качества поверхностей деталей. На основе приведенных рекомендаций разработан технологический процесс обработки сложнопрофильных деталей и приведены рекомендации по выбору рациональной формы инструмента - единичных абразивных гранул.

Ключевые слова: вибрационная обработка, технологический процесс, сложнопрофильная деталь, абразивная гранула, шероховатость поверхности, производительность.

Ведение. На сегодняшний день развитие прогрессивных технологий литья,ковки,штамповки, порошковой металлургии, обработки деталей на токарных и других обрабатывающих центрах дает возможность изготавливать детали весьма сложной конфигурации с минимальными припусками на финишную (отделочную) обработку. В настоящее время существует значительное многообразие методов финишной обработки, таких, например, как: магнитно-абразивная обработка; обработка в среде свободных абразивов; центробежно-ротационная, турбоабразивная и струйно-абразивная обработки. Ярким и одним из наиболее производительных примеров обработки сложнопрофильных деталей в среде свободных абразивов является вибрационная обработка (ВиО) деталей в навал. Данный метод обработки обладает высокой степенью универсальности и широкими технологическими возможностями.

Постановка проблемы. Технология ВиО обеспечивает обработку деталей широкой номенклатуры, таких, например, как: детали машиностроения (рис. 1, а), авиапромышленности и турбиностроения (рис. 1, б); длинномерные детали

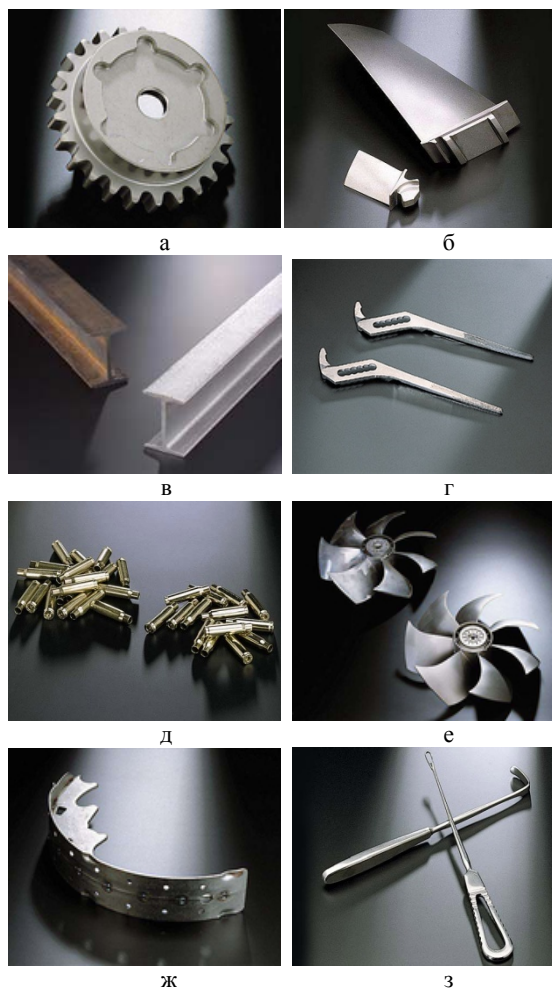


Рис. 1. Примеры деталей, обрабатываемых методом ВиО:
а – рулевое колесо; б – лопасти турбин; в – двутавры;
г – заготовки клещей; д – патронные гильзы;
е – крыльчатки турбин; ж – тормозные колодки;
з – хирургические крючки

из профилей и стального листа (рис. 1, в); инструментальная промышленность (рис. 1, г); оружейные детали и патронные гильзы (рис. 1, д); отливки (рис. 1, е); штамповки (рис. 1, ж); хирургический инструмент (рис. 1, з).

На сегодняшний день ВиО позволяет осуществить широкий ряд операций, а именно: снятие заусенцев и удаление острых кромок; шлифование и полирование; подготовка поверхностей деталей под нанесение покрытий; поверхностно пластическое деформирование; стабилизация остаточных напряжений.

Способ обработки состоит в том, что обрабатываемые детали и рабочая среда (состоящая из абразивных гранул и рабочих жидкостей, чаще всего – химически активных растворов) в соответствующей пропорции [1] помещаются в подпружиненный контейнер вибродвижущего станка (рис. 2).

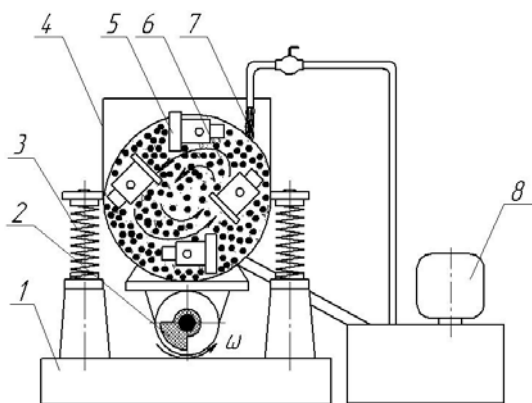


Рис. 2. Схема процесса объемной ВиО, где: 1 – основание; 2 – дебалансный вибровозбудитель; 3 – упругие элементы; 4 – U-образный контейнер; 5 – обрабатываемая деталь; 6 – рабочая среда; 7 – технологическая жидкость; 8 – помпа; 9 – шланг для слива рабочего раствора в бак отстойник; ω – частота колебаний контейнера

Под влиянием колебаний обрабатываемые детали и рабочая среда интенсивно перемещаются. При этом, по мнению авторов [2, 3, 4], наблюдается два основных вида движений рабочей среды: осциллирующее (частота этого движения соответствует частоте колебаний контейнера станка) и циркуляционное (медленное вращение всей среды относительно продольной оси контейнера).

В результате стохастических относительных движений блуждающих абразивных гранул, сопровождающихся ударным взаимодействием абразивных гранул между собой и с обрабатываемыми деталями, протекают процессы, с одной стороны, съема с деталей металла и его окислов и формирование нового поверхностного слоя, а с другой стороны, наблюдается износ абразивных гранул на протяжении всего времени обработки [3, 4].

Съем металла и его окислов происходит, как уже указывалось выше, в результате последовательного нанесения на поверхность

обрабатываемых деталей множества микроударов гранулами рабочей среды при их соударении с деталями и при их взаимном проскальзывании под воздействием силовых импульсов, передаваемых рабочей среде от вибровозбудителя вибродвижущего станка [5]. В результате этого на поверхности детали образуются бороздки, а при прямых соударениях гранул и детали – лунки, совокупность которых и определяет объем снимаемого металла, микрорельеф и физико-механические свойства поверхности [3, 4, 5].

Перспективность и эффективность данного метода обработки деталей без жесткой кинематической связи внавал доказывает необходимость его дальнейшего исследования.

Анализ исследований и публикаций. Один из путей повышения производительности технологических процессов ВиО – деление обрабатываемых деталей, на классификационные группы. Данное деление осуществляется на основе классификационных признаков, что в дальнейшем позволяет обрабатывать схожие детали по единым групповым технологическим процессам.

Авторами работы [6] в качестве классификационных признаков для деталей общемашиностроительных предприятий были выделены следующие: геометрическая форма детали; конструктивная характеристика отдельных элементов детали; взаимное расположение элементов детали; параметрический признак; наименование детали; выполняемая деталью функция. Данный классификатор позволяет при составлении групповых технологических процессов классифицировать обрабатываемые детали по ряду признаков с определением их класса, подкласса, группы и вида. Положительной чертой данного классификатора является то, что с его помощью можно получить полную характеристику формы обрабатываемой детали (классификатор разделен на множество этапов), что существенно облегчает создание типовых технологических процессов, но не способствует выбору оборудования и инструмента, в том числе без жесткой кинематической связи, применяемого при ВиО деталей.

Существует ряд работ [1, 4, 5, 7, 8], в которых авторы приводят классификаторы деталей, подвергаемых обработке на станках без жесткой кинематической связи, в частности и для ВиО. Из анализа этих работ видно, что многие авторы все детали подвергаемые ВиО разделяют по следующим признакам: размер, форма, масса, материал, жесткость, исходное состояние поверхностей, детали и количество одновременно обрабатываемых деталей. Рассмотрим каждый из перечисленных признаков подробнее.

Размер детали. Так авторы работы [1] выделяют следующие группы: до 40 мм; от 40 до 90 мм; от 90 до 180 мм; свыше 180 мм. Т.е. авторы не рассматривали обработку деталей менее 40 мм (мелкие детали) и более 180 мм (крупногабаритные

детали), что значительно сократило диапазон возможностей ВиО. Однако, авторы [7] приводят другую классификацию, в основу которой положено разделение на две группы - мелкие детали (от 0 до 20 мм) и крупные (от 20 до 640 мм). При этом каждая из групп подразделена на подгруппы. Так первая группа включает в себя: 1-ю подгруппу с размерами деталей от 0 до 2,5 мм; 2-ю подгруппу - от 2,5 до 5 мм; 3-ю подгруппу - от 5 до 10 мм; 4-ю подгруппу - от 10 до 20 мм. Вторая группа разбивается на 5 подгрупп: от 20 до 40 мм; от 40 до 80 мм; от 80 до 160 мм; от 160 до 320 мм; от 320 до 640 мм. Достоинством данной классификации является то, что она более подробно рассматривает мелкие детали (до 40 мм), которые составляют значительную часть от общего объема деталей, подвергаемых ВиО. В работе [8] проведен ряд исследований по обработке крупногабаритных изделий. Автором [8] было предложено разделение деталей на группы по габаритным размерам: длина (500-1200 мм), ширина (150-500 мм), толщина (5-150 мм), однако в работе не приведены результаты исследований учитывающих массу и физико-механические характеристики обрабатываемых изделий.

Масса детали. По результатам исследований, приведенным в [5] вибрационным методом обрабатывают детали массой от 50 до 3000 г. Авторы работы [1] предлагают следующую разбивку деталей на группы согласно их массы:

- 1-я группа - до 50 гр.;
- 2-я группа - от 50 до 250 гр.;
- 3-я группа - от 250 до 750 гр.;
- 4-я группа - от 750 до 1500 гр.;
- 5-я группа - от 1500 до 3000 гр. и далее.

Форма детали. Как известно, форма деталей определяет движение общей массы загрузки и равномерность обработки ее поверхностей [5]. Так как детали малой жесткости могут быть в процессе обработки деформированы, а детали особо сложной формы могут сцепляться друг с другом, образуя общий ком, детали могут иметь затененные места, щели, отверстия, пазы в результате доступ абразивных гранул затруднен, и такие детали обрабатываются хуже, чем детали с открытыми поверхностями. В результате при разработке классификации с разбивкой деталей на группы и учетом всех перечисленных выше особенностей, согласно [5] было получено следующее:

1-я группа - детали простой геометрической формы, образованные сочетанием цилиндрических и призматических поверхностей, с радиусом сопряжений до 10 мм;

2-я группа - детали с затененными местами в виде углов, ниш, карманов и т.п., к которым доступ абразивных гранул затруднен, но возможен при выполнении определенных условий, например, при уменьшении грануляции гранул или при использовании абразивных гранул с наличием

большого количества выступающих частей, например, гранул в форме П6 [9] или П12 [10];

3-я группа - детали сложной формы с криволинейными поверхностями, внутренними полостями, отверстиями, пазами, требующими обработки при практически невозможном доступе абразивных гранул к обрабатываемым поверхностям.

Недостатком такой классификации изделий, является отсутствие взаимосвязи между технологией ВиОи физико-механическими свойствами материала детали. Также отсутствует информация о количестве технологических переходов, которые, с учетом исходного и требуемого состояния поверхности, необходимо выполнить для достижения необходимого качества поверхностей деталей.

В работе [4] при разработке классификатора деталей, подвергаемых ВиО была осуществлена попытка связать такие признаки как: форма поверхностей, жесткость и масса обрабатываемых деталей. В результате автором [4] была предложена следующая классификация:

1-я группа - детали простой формы с обработкой по наружной поверхности и детали с отверстиями, пазами и полостями, не подлежащими обработке;

2-я группа - детали с отверстиями, пазами и полостями, требующими обработки;

3-я группа - тонкостенные детали и детали сложной формы.

Каждая из указанных групп разбита на четыре размерные подгруппы.

- крупные детали – с наибольшим габаритным размером от 100 до 300 мм и массой до 5 кг – подгруппа К;

- средние детали - с наибольшим габаритным размером от 30 до 100 мм и массой до 1 кг – подгруппа С;

- мелкие детали - с наибольшим габаритным размером от 10 до 30 мм и массой до 200 г – подгруппа М;

- очень мелкие детали - с наибольшим габаритным размером от 10 мм и имеющие любую массу – подгруппа ОМ.

Данная классификация достаточно удобна и в отличие от вышеперечисленных наиболее применима в производственной практике, однако не учитывает материала деталей и исходного состояния поверхностей заготовок, подвергаемых ВиО.

Исходное состояние поверхностей. Одним из факторов, влияющих на процесс ВиО, является исходное состояние поверхностного слоя заготовки, которое непосредственно зависит от вида предшествующей обработки (литье, горячая штамповка, холодная штамповка, обработка резанием, шлифование, прессование и др.). Вид предшествующей операции влияет на прочность, величину и характер ликвидов, а, следовательно, и трудоемкость их удаления. Исходное состояние

поверхносного слоя заготовки определяет вид и количество необходимых для выполнения операции ВиО переходов и режимы их выполнения. Данному вопросу уделено значительное внимание в работах [1, 3, 5, 7, 8], и в данной статье он не рассматривается.

Материал детали. Одним из факторов, влияющих на ВиО, является материал детали, от которого зависит вид применяемых при обработке абразивных гранул (зернистость абразивной составляющей и вид связки).

Свободными абразивами обрабатываются любые заготовки, полученные всеми видами литья (в землю, в кокиль, оболочки, под давлением), ковкой, объемной и листовой штамповкой, детали после лезвийной обработки и т.д., выполненные из:

- всех марок сталей, в том числе нержавеющей;
- всех цветных металлов и их сплавов;
- керамики;
- пластмасс;
- твердых сплавов и тугоплавких металлов;
- камня;
- стекла;
- дерева.

Приведенная автором [7] классификация материалов деталей, обрабатываемых методами отделочно-зачистной обработки, достаточно широко рассматривает данный вопрос. При этом автор [7] приводит следующие рекомендации по выбору инструмента:

1. Абразивные гранулы должны были обладать высокой прочностью, твердостью и износостойкостью.

2. Для обеспечения чистоты обрабатываемых поверхностей зернистость абразивных гранул не должна превышать 3-5, т.е. качество получаемых после ВиО поверхностей должно соответствовать требованиям, предъявляемым к шлифовальным и полировальным поверхностям.

Наилучшим материалом, отвечающим этим требованиям, по мнению [7], являлись абразивные гранулы из боя шарошлифовальных кругов зернистостью 3-5 и твердостью связки ВТ-ЧТ-2. Однако данные рекомендации не применимы для обработки сложнопрофильных деталей, поскольку гранулы данной формы не имеют выступающих поверхностей и не могут контактировать с поверхностями уступов, пазов и затемненными местами деталей. Кроме этого, нет рекомендаций по принятию технологических решений по выбору того или иного вида инструмента для ВиО в зависимости от материала деталей, и поэтому данные рекомендации не получили применения в производственной практике.

Из анализа приведенных выше классификаторов деталей, подвергаемых ВиО, можно сделать вывод, что к сожалению ни в одной из работ нет рекомендаций по применению данных классификаторов в производственной практике.

Также ни в одной из работ не прослеживается взаимосвязь между признаками, характеризующими обрабатываемые детали и решением технологических задач рационального выбора оборудования, оснастки, абразивных гранул, химически активного раствора, времени и режимов обработки.

Целью исследования является повышение производительности технологических процессов вибрационной обработки сложнопрофильных деталей. Для решения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Выявить взаимосвязь между признаками, характеризующими детали обрабатываемые вибрационным методом, и параметрами вибрационного процесса.

2. Разработать рекомендации по принятию технологических решений по выбору оборудования, оснастки, инструмента, времени и режимов обработки деталей.

3. Рассмотреть, на примере обработки различных по форме массе, исходному состоянию поверхностей и материалу деталей, возможность использования предложенного классификатора и рекомендаций при написании группового технологического процесса вибрационной обработки.

Результаты исследования. При написании индивидуальных и групповых технологических процессов ВиО деталей инженер-технолог сталкивается с решением ряда задач, таких, например, как выбор модели станка, вида технологической оснастки, инструмента, режимов обработки. Рекомендации по решению этих задач и принятию рациональных технологических решений, позволяющих достичь повышения производительности процессов ВиО приведены ниже.

1. Выбор оборудования. Модель вибрационного станка выбирается в зависимости от размера с количества одновременно обрабатываемых деталей. В промышленности наиболее распространены станки с U-образной (объемом от 0,1 л до 6650 л) и тороэдаальной (от 5 л до 250 л) формой контейнера. Классификация, компании производители и характеристики наиболее распространенных станков подробно описаны в [11]. Так для обработки мелких деталей размером от 0 до 40 мм отдают предпочтение станкам, с объемом контейнера до 20 л моделей: Vibrochimica (Италия) MINOX 19 (объем контейнера 19 л) [13], WALTHER TROWAL (Германия) TFM 49/21 (15 л) [14]; RÖSLER (Германия) 180/530 TE-30 PU, 180/600 TE-30 PU с объемом контейнера 15 л 230/530 TE-30 PU, объемом 20 л [15].

Для обработки деталей средних размеров от 40 до 120 мм станкам с объемом контейнера до 100 л моделей: Vibrochimica MINOX 40 и VB 122 (объем контейнера 40 л и 65 л, соответственно), VBR 122 (65 л), VBR 125 (80 л) [13];

WALTHERTROWALTFM 58/32 (42 л), TFM 83/37 (80 л)[14]; RÖSLER 300/600 TE-15 (30) PU (65 л).

Для крупных и особо крупных деталей станки объемом от 100 до 3500 л. Наиболее распространенными среди них являются станки:

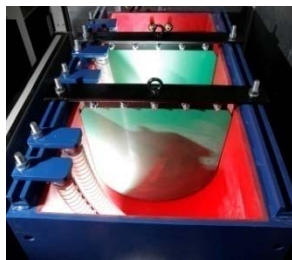
- VibrochimicasерииVВи VBR, объем контейнера от 100 до 970 л[13];
- WALTHERTROWAL серийTFM [14]и TMV[16]объем контейнера от 165 до 3300 л;
- RÖSLERсерий TS-Ди TE, объем контейнера от 115 до 2600 л [15].

В отдельную группу можно выделить станки для обработки длиномерных и громоздких деталей, загружаемых в вибрационный станок не одновременно, а по очереди, и при обработке не соударяющихся друг с другом для предотвращения их повреждений. Примером таких станков являются фирмы:VibrochimicasерииVBL с объемом контейнера от 600 до 1950л, технические характеристики которых представлены в [16] и RÖSLER серий TS и TU, объемом от 30 до 6650 л [15].

Не зависимо от модели при выборе станка в зависимости от размеров детали необходимо придерживаться следующих рекомендаций[5]:

- рабочий объем загрузки контейнера не должен превышать 3/4 от его общего объема;
- объем деталей не должен превышать 1/3 от рабочего объема контейнера.

2. *Выбор технологической оснастки.* При выборе технологической оснастки для выполнения ВиО необходимо, в первую очередь, учесть такие признаки деталей как: размер, форма и материал деталей. В производственной практике встречаются случаи, когда в контейнере одного вибрационного станка производится одновременная обработка различных по материалу, типоразмеру и форме деталей. В таких случаях во избежание перемешивания деталей различных групп, повреждения мелких деталей более крупными, сцепления друг с другом деталей сложной геометрической формы применяют специальные перегородки, разделяющие объем контейнера на сектора (рис. 3).



а



б

Рис. 3. Пример использования перегородок для разделения рабочей среды в контейнерах вибрационных станков: а –U-образная форма контейнера; б – тороэдальная форма контейнера

При обработке мелких плоских деталей, для предотвращения налипания таких деталей на стенки контейнера автором работы [12] было предложено использование в качестве технологического оснащения специальной резиново-абразивной футеровки контейнера.

3. *Выбор инструмента для ВиО деталей.* Как уже указывалось выше, рабочая среда, выступающая в качестве инструмента для ВиО состоит из единичных абразивных гранул и химически активного раствора. На выбор вида рабочей среды наибольшее влияние оказывают: форма, материал, и исходное состояние поверхности и требования, предъявляемые к качеству поверхностей детали после ВиО.

При выборе вида абразивных гранул в зависимости от формы обрабатываемой детали следует:

1. Для обработки деталей простой геометрической формы, образованные сочетанием цилиндрических и призматических поверхностей выбирать гранулы произвольной формы, например, бой шарошлифовальных кругов АН-2, или гранулы в форме шара или "линзы" [17, 18] (рис. 4, а).

2. Для обработки деталей с затененными местами в виде углов, ниш, карманов - гранулы в форме конусов, конусов с радиусами у вершине, цилиндров, скошенных цилиндров, призм [17, 18] (рис. 4, б).

3. Детали сложной формы с криволинейными поверхностями, внутренними полостями, отверстиями, пазами отдавать предпочтение гранулам, имеющим большое количество выступающих частей, например в форме пирамид, пирамид с радиусными гранями, призм с усеченными гранями, скошенной призмы, звездочек или гранулам, имеющим в основании невыпуклый шестиугольник П6 [9] или П12 [10] (рис. 4, в).

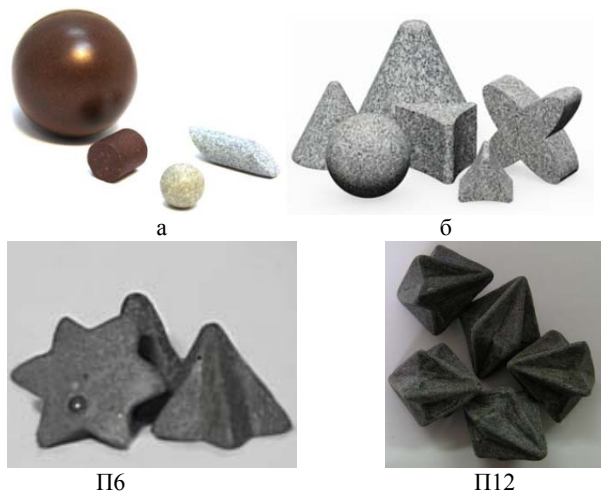


Рис. 4. Примеры форм абразивных гранул для обработки: а – деталей простых форм; б – деталей с затененными местами; в – сложнопрофильных деталей

4. Для выполнения операций полирования и упрочнения поверхностного слоя деталей компания WALTHER TROWAL [18] рекомендует использовать стальные гранулы в форме шариков, спутников и валиков, представленные на рисунке 5.



Рис. 5. Пример гранул, используемых для полировки деталей ВиО

При выборе гранул в зависимости от обрабатываемого материала необходимо придерживаться следующих рекомендаций:

1. Для деталей выполненных из стали с сплавов следует отдавать предпочтение гранулам на керамическом и эпоксидном связующем и в зависимости от вида операции (очистка, удаление заусенцев, шлифование) выбирать гранулы с большей или меньшей зернистостью абразивного наполнителя. В данном случае справедливы рекомендации по применению абразивных инструментов для станков с жесткой кинематической связью [19, 22, 23].

2. Для деталей, выполненных из мягких цветных металлов и сплавов, например, алюминия или меди, получаемых литье под давлением правильным будет выбор гранул на основе пластиков. Они выбираются в соответствии с требуемыми характеристиками шлифования и желаемой шероховатости поверхности и отличаются друг от друга по цвету и зернистости. Так, например, в каталоге производителя [17, 18]: для более грубых операций очистки и шлифовки производители рекомендуют гранулы черного, коричневого, серого, синего, фиолетового и красного цветов, для средней шлифовки - зеленые, оранжевые, розовые, желтые гранулы, а для тонкого шлифования и полирования - белые и прозрачные гранулы.

Состав химически активного раствора, применяемого для ВиО деталей зависит от материала из которого они изготовлены и от требований, предъявляемых к качеству поверхностного слоя детали после обработки (вид поверхности матовая или глянцевая).

ВиО можно проводить сухим способом или с применением жидкой среды (химически активного раствора). При сухом способе накапливающуюся в контейнере абразивную пыль необходимо периодически удалять механически или продувкой сжатым воздухом. Обработка в жидкой среде [20, 21] облегчает удаление продуктов абразивного износа и уменьшает продолжительность обработки. В случае использования химически активных растворов частота колебаний контейнера должна

быть выше, чем при сухом методе обработки. Раствора в контейнер подают периодически или непрерывно. В последнем случае обеспечивается более высокое качество и интенсивность обработки деталей. Такими жидкостями при обработке стальных деталей являются 2-5%-ный раствор кальцинированной соды, а также смесь следующего состава: мыло - 15 г/л, кальцинированная сода - 5 г/л, олеиновая кислота - 5 г/л [20]. При обработке деталей из цветных металлов автор работы [5] рекомендует применять: кальцинированная сода - 20 г/л, триэтанолламин - 0,1 г/л; олеиновая кислота - 0,3 г/л. Протекающий через контейнер раствор отстаивают и после сепарирования и отделения отходов износа абразивных гранул возвращают в контейнер станка.

Рекомендации по применению готовых растворов для выполнения операций очистки, шлифования и полирования деталей, выполненных из углеродистых и нержавеющей сталей и ее сплавов, а также деталей из меди и сплавов на ее основе, алюминиевых, цинковых и магниевых сплавов приведены в каталогах [17, 18].

4. *Выбор режимов обработки.* Режимы работы станка для ВиО деталей выбираются в зависимости от материала, исходного состояния поверхностей и требований, предъявляемых к качеству поверхностей обрабатываемых деталей. Для углеродистых, легированных и нержавеющей сталей большинство авторов [1, 4, 5, 8, 20] рекомендуются применять режимы:

- для операций очистки, удаления окалины, заусенцев и скругления острых кромок амплитуду колебаний контейнера - от 3,5 до 5 мм, частоту колебаний - от 30 до 50 Гц;
- для операций виброшлифования - амплитуду от 1 до 3,5 мм и частоту - от 25 до 34 Гц;
- для вибрационного упрочнения - амплитуду от 3 до 3,2 мм, частоту колебаний - 54-67 Гц;
- для виброполирования - амплитуду от 2,5 до 3,2 мм, частоту колебаний - 54-67 Гц.

Время обработки партии заготовок зависит от исходного состояния поверхности и составляет от 30 мин. до 6 ч (устанавливается опытным путем в зависимости от состояния исходной поверхности и требований к обрабатываемым деталям).

Автор работы [20] для виброупрочнения твердосплавных изделий рекомендует амплитуду колебаний контейнера, равную 2-3 мм и частоту 25 Гц. Время виброабразивной обработки, по мнению автора [20], должно составлять 2-3 ч для сплавов типов ВК6, ВК8 (нижний предел) и ВК15 (верхний предел), продолжительность обработки соответственно равной 3-4 и 1,5-2 ч.

Рассмотрим возможность использования приведенных рекомендаций на примере деталей сложной конфигурации (рис. 6), поступивших на операции очистки, шлифования, удаления заусенцев, округления острых кромок, повышения качества поверхностей.



Рис. 6. Внешний вид исследуемых деталей доВиО:
а – рычаг; б – кронштейн

Исследуемые детали имели сложную геометрическую форму и были выполнены из различных материалов. Характеристики исследуемых деталей приведены в таблице 1. Ко всем деталям, поступившим на операции вибрационной обработки, предъявлялись требования округления острых кромок до $R \geq 0,3$ мм, где R – радиус округления; получения однородных матовых поверхностей деталей; снижения шероховатости поверхности до $Ra = 6,3$ мкм.

Таблица 1

Характеристика исследуемых деталей		
Наименование детали	Материал	Состояние поверхности
Рычаг	Сталь 20	Штамповка
Кронштейн	Латунь ЛС59-1Л	Литье под давлением

Согласно рекомендациям, приведенным выше, исследуемые детали максимальный габаритный размер которых составляет: для рычага - 165 мм, для кронштейна - 300 мм, относятся ко 2-й группе, 4-й подгруппе – крупные детали. По форме - к деталям 3-й группы сложной формы с криволинейными поверхностями, внутренними полостями, отверстиями. При выборе модели станка необходимо учесть возможность свободного циркуляционного

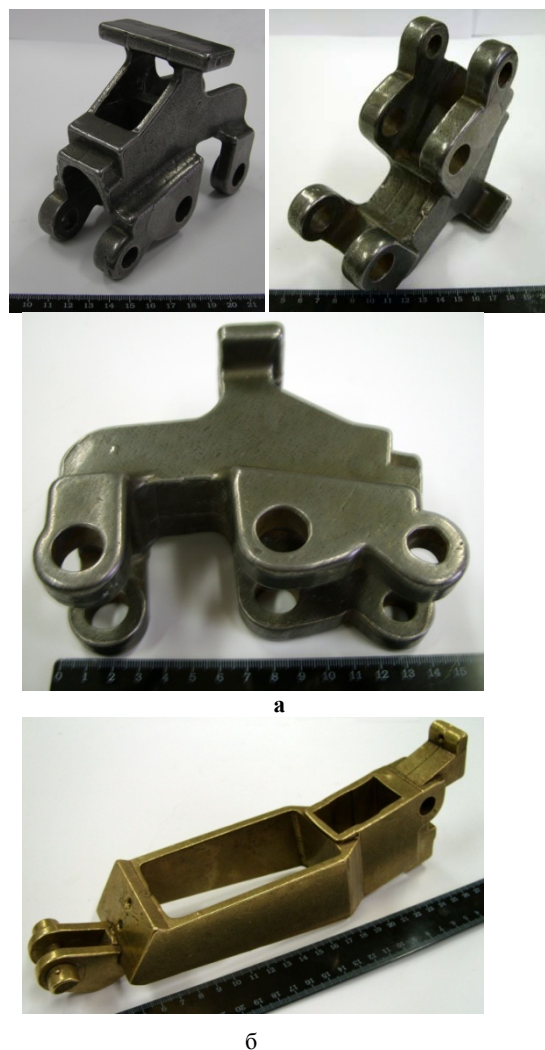


Рис. 7. Внешний вид исследуемых деталей после ВиО:
а – рычаг; б – кронштейн

перемещения деталей в контейнере станки. Обработка всех деталей производилась на станке модели УВИ-25 объемом контейнера 25 л. Для выполнения операции очистки, снятия окалины и округления острых кромок выбраны режимы: амплитуда колебаний 3,5 мм, частота - 50 Гц. Для выполнения операций вибрационного шлифования режимы - амплитуда колебаний 3 мм и частота 34 Гц. Время обработки составило: очистка и удаление окалины - 30 мин., виброшлифование - 60 мин.

При выборе инструмента для ВиО, учитывая сложную геометрическую форму деталей, было отдано предпочтение абразивным гранулам в виде боя шарошлифовальных кругов АН-2, трехгранных призм ПТ-20 и двухсторонних пирамид, в поперечном сечении которых лежит невыпуклый шестиугольник П12 (см. рис. 4, в), имеющих одинаковую зернистость абразивной составляющей (№40) и грануляцию (20 мм). Обработка всех деталей вибрационным методом проводилась с использованием химически активного раствора следующего состава:

Таблиця 2

Операционная карта технологического процесса ВиОдеталей "Кронштейн"

Союзавго	Операционная карта типового технологического ВиО	Наименование деталей «Кронштейн»			
Наименование операции	Марка материала	Характеристика деталей			
Виобрешлифованне	Латунь ЛС59 ГОСТ 15527-70	Масса 1,4 кг			
Оборудованне, приспособленне	Рабочий раствор				
ВиО-станок мод. УВИ-25, тара для деталей, емкость для осветления	Состав и концентрация рабочего раствора	Количество раствора Непрерывно подаваемый раствор			
	Сода кальцинированная ГОСТ 5100-85 Триэтанолламин ТУ 6-09-2448-66 Олеиновая кислота ТУ 6-09-3306-66	20 г/л 15 мл/л 30 мл/л			
Технические условия на детали					
До обработки		После обработки			
1. Детали получены методом штамповки					
2. Дефекты поверхности (окалина, риски, забоины, вмятины с глубиной 0,5-0,8 мм, острые кромки размером, не превышающим 0,2 мм)		1. Дефекты поверхности удалены полностью			
3. Исходная шероховатость поверхности (без учета выявленных дефектов) соответствует Ra=25 мкм		2. Шероховатость поверхности соответствует Ra=0,63 мкм			
		3. Поверхность имеет естественный матовый цвет			
№ п/п	Хар-ка рабочей среды	Инструмент	Условия обработки	Продолжительность перехода, мин	
				Вспомогательное время	
1	П12	20	3	34	1,0
2	Содержание перехода				2,0
3	Установить режимы вибрации				0,5
4	Загрузить абразивные гранулы				2,0
5	Включить ВиО-станок				2,0
6	Промыть содержимое контейнера				1,0
7	Включить подачу в контейнер хим. актив. раствора				2,0
8	Загрузить детали в контейнер				60
9	Виобрешлифовать				5,0
10	Отделить детали от гранул				0,5
	Включить станок				1,0
	Проверить внешним осмотром качество обработанных деталей, измерить шероховатость и радиус округления острых кромок				15
			Итого:	60	

- для обработки рычагов - на один литр воды 35 г триэтаноламина, 1 мл олеиновой кислоты, 30 г кальцинированной соды, 20 г едкого кали;

- для обработки кронштейнов - на один литр воды 2 г соды кальцинированной, 15 мл триэтаноламина, 30 мл олеиновой кислоты.

В процессе обработки химически активный раствор подавался непрерывно.

Пример операционной карты технологического процесса ВиО деталей "Кронштейн" приведен в таблице 2

Через каждые 30 мин. обработки производился контрольный осмотр всех обрабатываемых деталей и измерение шероховатости поверхностей и радиусов округления острых кромок. Внешний вид исследуемых деталей после 90 мин. обработки приведен на рис. 7. Результаты экспериментальных исследований были сведены в таблицу 3.

Таблица 3

Результаты ВиО исследуемых деталей

Наименование детали	АГ	Шероховатость поверхностей, мкм			Радиус округления острых кромок, мм		
		Время обработки, мин			Время обработки, мин		
		30	60	90	30	60	90
Рычаг	АН-2	8,1	7,4	6,5	0,12	0,24	0,3
	ПТ-20	7,9	7,1	6,3	0,16	0,27	0,31
	П12	7,2	6,1	—	0,18	0,3	—
Кронштейн	АН-2	16	9,2	6,3	0,12	0,18	0,27
	ПТ-20	14,4	8,8	5,9	0,13	0,22	0,31
	П12	10,7	6,3	—	0,16	0,3	—

Примечание: АГ - абразивные гранулы

Выводы. Анализируя результаты исследований, приведенные в таблице 3, можно отметить, что производительность процесса ВиО во многом зависит от применяемого инструмента. Для получения требуемого качества обрабатываемых поверхностей в случае обработки деталей в рабочей среде, состоящей из абразивных гранул в форме АН-2 и ПТ-20, понадобилось 90 мин., а в случае обработки в П12 – 60 мин, что на 33% меньше. Обрабатываемые детали имеют большое количество затемненных мест, сложных поверхностей, впадин, выступов, что также влияет на форму выбираемого абразивного инструмента. Как показали длительные экспериментальные исследования, именно абразивные гранулы в форме П12, имеющие рациональное соотношение углов, образующих основание гранулы, достаточное количество ребер, легко проникают в труднодоступные места деталей и при этом, сохраняют свои режущие способности и форму на протяжении длительного времени – вплоть до полного истирания. Абразивные гранулы других исследуемых форм были менее производительны, т.к. в случае использования распространенных на промышленных предприятиях гранул в форме АН-2 и ПТ-20 на поверхностях деталей после обработки

наблюдались необработанные поверхности, а именно – затемненные места. Использование гранул в форме П12 позволило достичь максимального технологического эффекта и повысить производительность процесса по сравнению с АН-2 и ПТ-20 на 42 и 35% соответственно.

Л и т е р а т у р а

1. Бабичев А.П. Справочник инженера-технолога в машиностроении: справочник / А.П. Бабичев, И.М. Чукарина, Т.Н. Рысева, П.Д. Мотренко. – Ростов н/Д: «Феникс», 2005. – 541 с.
2. Блехман И.И. Вибрационное перемещение / И.И. Блехман, Г.Ю. Джанелидзе. – М.: Наука, 1964. – 488 с.
3. Копылов Ю.Р. Виброударное упрочнение: Монография. – Воронеж: Воронежский институт МВД России, 1999. – 386 с.
4. Объемная вибрационная обработка / И.Е. Бурштейн, В.В. Балицкий, А.Ф. Духовский, М.Я. Дубова, Л.Ш. Гительман, А.М. Стессель, А.Н. Тоцкий / Под ред. И.Е. Бурштейна. – М.: ЭНИМС, 1977. – 108 с.
5. Обработка деталей свободными абразивами в вибрирующих резервуарах / И.Н. Карташов, М.Е. Шаинский, В.А. Власов, Б.П. Румянцев и др. – К.: Высшая школа, 1975. – 179 с.
6. Иллюстрированный определитель деталей общемашиностроительного применения. Классы 40 и 50 / Под ред. Е.А. Понфилова, Ю.И. Блохина, Л.М. Кулика и др. М.: Издательство стандартов, 1977. – 238 с.
7. Кулаков Ю.М. Отделочно-зачистная обработка деталей / Ю.М. Кулаков, В.А. Хрульков. – М.: Машиностроение, 1979. – 216 с.
8. Мицык А.В. Повышение эффективности обработки крупногабаритных плоскостных изделий активизацией движения рабочей среды в U-образных контейнерах: дис. ... кандидата техн. наук / Мицык Андрей Владимирович. – Харьков, 2008. – 317 с.
9. Патент № 31109 Україна МПК В24В 31/14. Абразивні гранули для вібраційної обробки деталей / Калмиков М.О., Шумакова Т.О., Романченко О.В.; заявник і патентовласник Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля. – № U2007 13263; заявл. 28.11.2007; опубл. 25.03.2008, Бюл. №6.
10. Патент № 40383 Україна МПК В24В 31/14. Абразивні гранули для вібраційної обробки деталей / Лубенська Л.М., Шумакова Т.О., Калмиков М.О.; заявник і патентовласник Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля. – № U2008 11534; заявл. 25.09.2008; опубл. 10.04.2009, Бюл. №7.
11. Основи вібраційної технології: Навчальний посібник. / Лубенська Л.М., Калмиков М.О., Ясунік С.М. – Луганськ: Вид-во СНУ ім. В. Даля, 2009. – 284 с.
12. Калмиков М. Експериментальна оцінка впливу матеріалу поверхні контейнера на ефективність процесу вібраційного оброблення деталей / Калмиков М., Лубенська Л., Мелконов Г., Романченко О. // Машинознавство. – Львів, 2007. – №3(117). – С.37-40.
13. http://www.shiftcdn.it/vibrochimica/catalog_eng.pdf

14. https://www.walther-trowal.com/fileadmin/user_upload/Produkte/Datenblaetter/tfm_dt_2014_web.pdf
15. https://de.rosler.com/fileadmin/Files/Prospekte/Gleitschlifftechnik/DE_DE_Trogvibratoren_DE_129.pdf
16. https://www.walther-trowal.com/fileadmin/user_upload/Produkte/Datenblaetter/tmv_dt_2014_web.pdf
17. https://us.rosler.com/fileadmin/Files/Prospekte/Gleitschlifftechnik/US_EN_Consumables_US_130.pdf
18. http://tt.pl/sites/default/files/foldery/ksztaltki_i_plyny_obrobkowe_prospekt_pl.pdf
19. Абразивная и алмазная обработка материалов: Справочник / Под ред. А.Н. Резникова. – М.: Машиностроение, 1977. – 391 с.
20. Вибрации в технике: Справочник: В 6-ти т. – М.: Машиностроение, 1981. – Т.4. Вибрационные процессы и машины / Под ред. Э.Э. Лавендела. – 509 с.
21. Соколов В.І., Кріль О.С., Спіфанова О.В. Гідравліка. – Сєвєродоноєцьк: СЧУ ім. В. Даля. – 2017. – 160 с.
22. Кріль О.С., Шумакова Т.О., Соколов В.І. Проектування зуборізних інструментів за допомогою системи КОМПАС. – Луганськ: СЧУ ім. В. Даля. – 2013. – 142 с.
23. Кріль О.С., Шевченко С.В., Соколов В.І. Проектування металорізальних верстатів у середовищі АРМ WinMachine. – Луганськ: СЧУ ім. В. Даля. – 2011. – 388 с.
9. Kalmikov, M.O., Shumakova, T.O., Romanchenko, O.V. Abrazivnigranulidliavibratciinoöbrobkidetalei [Abrasive granules for vibrating parts processing], Patent № 31109 Україна MPK V24V 31/14, zaiavnikipatentovlasnikSkhidnoukraïnskiinatcionalniiuni versitetimeniVolodimira Dalia. – № U2007 13263; zaiavl. 28.11.2007; opubl. 25.03.2008, Biul. №6.
10. Lubenska, L.M., Shumakova, T.O., Kalmikov, M.O. Abrazivnigranulidliavibratciinoöbrobkidetalei [Abrasive granules for vibrating parts processing], Patent № 40383 Україна MPK V24V 31/14, zaiavnikipatentovlasnikSkhidnoukraïnskiinatcionalniiuni versitetimeniVolodimira Dalia. – № U2008 11534; zaiavl. 25.09.2008; opubl. 10.04.2009, Biul. №7.
11. Lubenska, L.M., Kalmikov, M.O., Iasunik, S.M. (2009), Osnovivibratciinoötekhologii: Navchalniiposibnik [Basics of vibration technology: Tutorial], Vid-vo SNU im. V. Dalia, Lugansk, Ukraine.
12. Kalmikov, M., Lubenska, L., Melkonov, G., Romanchenko, O. (2007), Eksperimentalnaotcinkavplivumaterialupoverkhni konteineranaefektivnistprotcesuvibratciinogoobroblenni adetalei [Experimental estimation of influence of the material of the containers surface on the efficiency of the process of vibration processing of parts], Mashinostroyeniye, №3(117), Lviv, Ukraine.

References

1. Babichev, A. P. (2010), Primenenie vibratsionnykh tekhnologiy na operatsiyah otdelochno-zachistnoy obrabotki detalej (ochistka, moyka, udalenie oblojki i zausencev, obrabotka kromok) [Use of vibration technology on finishing and stripping operations (cleaning, deflashing and deburring, edge processing)], DGTU, Rostov-on-Don, Russia.
2. Blekhan, I.I., Dzhanlidze, G.Iu. (1964), Vibratsionnoe peremeshchenie [Vibration movement], Nauka, Moskva, Russia.
3. Kopylo, V.Iu.R. (1999), Vibroudarnoe uprochnenie [Vibroudarnogo hardening], Voronezhskii institut MVD, Voronezh, Russia.
4. Burshtein, I.E., Balitckii, V.V., Dukhovskii, A.F., Dubova, M.Ia., Gitelman, L.Sh., Stessel, A.M., Totckii A.N. (1977), Obemnaiavibratsionnaia obrabotka [Volumetric vibratory processing], ENIMS, Moskva, Russia.
5. Kartashov, I. N., Shainskij, M. E. and Vlasov, V. A. (1975), Obrabotka detalej svobodnymi abrazivami v vibrirujushhih rezervuarah [Free abrasive treatment of details in vibrating tanks], Vysshajashkola, Kiev, Ukraine.
6. Ponfilova, E.A., Blokhina, Iu.I., Kulika, L.M. (1977), Illiustrirovannyi opredelitel detalei obshchemashinostroyeniya. Klassy 40 i 50 [Illustrated determinant of details of the machine-building application. Classes 40 and 50], Izdatelstvo standartov, Moskva, Russia.
7. Kulakov, Iu.M., Khrulkov, V.A. (1979), Otdelochno-zachistnaia obrabotka detalei [Finishing and cleaning of parts], Mashinostroyeniye, Moskva, Russia.
8. Mitcyk, A.V. (2008), Povyshenie effektivnosti obrabotki krupnobaritnykh plosov kostnykh izdelii aktivatsiey vizhenii rabochesredy v U-obraznykh konteinerakh: dis. ... kand. teh. nauk: 05.03.01 [Increasing the efficiency of processing large-sized flat products by activating the movement of the working medium in U-shaped containers] Kharkov, Ukraine.
13. http://www.shiftcdn.it/vibrochimica/catalog_eng.pdf
14. https://www.walther-trowal.com/fileadmin/user_upload/Produkte/Datenblaetter/tfm_dt_2014_web.pdf
15. https://de.rosler.com/fileadmin/Files/Prospekte/Gleitschlifftechnik/DE_DE_Trogvibratoren_DE_129.pdf
16. https://www.walther-trowal.com/fileadmin/user_upload/Produkte/Datenblaetter/tmv_dt_2014_web.pdf
17. https://us.rosler.com/fileadmin/Files/Prospekte/Gleitschlifftechnik/US_EN_Consumables_US_130.pdf
18. http://tt.pl/sites/default/files/foldery/ksztaltki_i_plyny_obrobkowe_prospekt_pl.pdf
19. Reznikov, A.N. (1977), Abrazivnaia i almaznaia obrabotka materialov: Spravochnik [Abrasive and Diamond Processing of Materials: A Handbook], Mashinostroyeniye, Moskva, Russia.
20. Lavendel, E.E. (1981), Vibratsii v tekhnike: Spravochnik: V 6-ti t. T.4 Vibratsionnyye protsessy i mashiny [Vibrations in technology: Handbook: In 6 tons. T.4. Vibration processes and machines], Mashinostroyeniye, Moskva, Russia.
21. Sokolov V., Krol O., Yepifanova O. Hydraulics. V. Dahl EUNU, Severodonetsk, 2017.
22. Krol O., Shumakova T., Sokolov V. Design metal cutting instruments by dint of system of KOMPAS. V. Dahl EUNU, Lugansk, 2013.
23. Krol O., Shevchenko S.V., Sokolov V. Design machine tools in environment APM WinMachine. V. Dahl EUNU, Lugansk, 2011.

Шумакова Т.О., Ніколаєнко А.П., Романченко О.В., Таванюк Т.Я. Підвищення продуктивності технологічних процесів вібраційної обробки деталей.

У статті проведено аналіз відомих класифікаторів деталей, що підлягають обробці на верстатах без жорсткого кінематичного зв'язку. Наведено рекомендації щодо вибору параметрів процесу вібраційного обробки в залежності від розмірів, форми, матеріалу та вихідної якості поверхонь деталей. На основі наведених рекомендацій розроблено технологічний процес обробки складнопрофільних деталей та наведено рекомендації щодо вибору раціональної форми інструменту - одиничних абразивних гранул.

Ключові слова: вібраційна обробка, технологічний процес, складнопрофільна деталь, абразивна гранула, шорсткість поверхні, продуктивність.

Shumakova T.A., Nikolaenko A.P., Romanchenko A.V., Tavanyuk T.Y. Increase of performance of technological processes of vibration treatment of details.

Known classifiers of parts that treated in machines without rigid kinematic connection has been analyzed. Recommendations by selection of vibration treatment process parameters depending on the size, shape, material and initial quality of the parts surfaces has been given. On the basis of these recommendations, a technological process for complex parts treatment has been developed and recommendations for choosing a rational tool form - single abrasive media have been made.

Key words: vibration treatment, technological process, complex profile, abrasive granule, surface roughness, productivity.

Шумакова Тетяна Олександрівна – к.т.н., доцент кафедри машинобудування та прикладної механіки, Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля (м. Северодонецьк).
shumakovatania@gmail.com

Ніколаєнко Ганна Павлівна – к.т.н., доцент кафедри машинобудування та прикладної механіки, Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля (м. Северодонецьк).
apnikolaienko@gmail.com

Романченко Олексій Володимирович – к.т.н., доцент кафедри машинобудування та прикладної механіки, Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля (м. Северодонецьк).
alexvromanchenko@gmail.ru

Таванюк Тетяна Яківна – к.т.н., доцент кафедри машинобудування та прикладної механіки, Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля (м. Северодонецьк).
ttavanyuk@gmail.com

Рецензент: д.т.н., проф. **Соколов В.І**

Стаття подана 02.10.2017