**II. МАШИНОБУДУВАННЯ ТА МАТЕРІАЛОБРОБКА**

Бабичев А. П.

Месхи Б. Ч.

Тамаркин М. А.

*Донской  
государственный  
технический  
университет*

Мотренко П. Д.

ОАО «Роствертол»

**УДК 621.9.048****НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ  
СИСТЕМЫ ВИБРОУДАРНОЙ  
УПРОЧНЯЮЩЕЙ ОБРАБОТКИ  
ДЛИННОМЕРНЫХ И  
КРУПНОГАБАРИТНЫХ  
СЛОЖНОЙ ФОРМЫ СИЛОВЫХ  
ДЕТАЛЕЙ ВЕРТОЛЕТОВ**

*Представлены результаты экспериментальных исследований метода поверхностного пластического деформирования многоконтактным виброударным инструментом. Проанализирован характер распространения ударных импульсов в среде стальных тел (цилиндрической и сферической формы), описаны различные технологические схемы обработки. Показана роль волновых процессов, вызванных виброударным воздействием, в упрочняющем эффекте.*

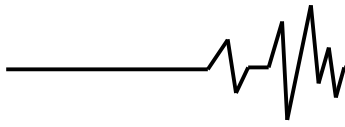
*The results of experimental by superficial plastic deformation multicontact vibration shocking tool are submitted; the analysis of the widespread shock pulses in the environment of steel bodies (the spherical and cylindrical form) and their realization on the processable surface; the role of the wave processes, caused by the influence of vibration shocking is marked.*

Современный этап развития технологии машиностроения в значительной мере характеризуется изысканием и оптимизацией технологических приемов преобразования исходного материала детали, её поверхности и поверхностного слоя с учетом условий эксплуатации изделия. Решается комплексная задача создания или выбора условий обработки (методов обработки), достижения качественных показателей детали (качества поверхности и поверхностного слоя), обеспечивающих наиболее высокие эксплуатационные свойства. Правомерность постановки и решения этой задачи обосновывается установлением корреляционных связей важнейших эксплуатационных свойств детали, параметров качества поверхности и условий (методов) их формирования.

Многообразие изделий различного назначения предопределяет соответственно и большое многообразие входящих в них

деталей. Различие форм и размеров деталей, состояние поверхности, поверхностного слоя и всего объема материала связаны с необходимостью применения широкого спектра технологических методов обработки. Технология машиностроения и металлообработки является наиболее динамичной составляющей производственного процесса, непрерывно совершенствуется и обновляется. В процессе её развития решались проблемы классификации деталей с целью унификации процессов обработки, оборудования и инструментов, решения организационных и экономических задач.

Учитывая нетрадиционные формы и размеры деталей, входящих в конструкции вертолетов, самолетов, некоторых транспортных средств, предложена классификация их по конструктивно-технологическим признакам. Длинномерные и крупногабаритные детали сложной формы с точки зрения разработки технологических схем



виброударной обработки разделены на три группы: 1-я – плоские детали сложной формы; 2 – я – крупногабаритные детали объемной ориентации; 3 – я - длинномерные детали сложной формы.

Наиболее многочисленную 1 – ю группу составляют детали с размерами до 150...300 мм, обработка которых осуществляется в свободном состоянии. К числу таких деталей относятся кронштейны, качалки, мелко модульные шестерни, лопатки турбин и компрессоров, шаровые опоры, кулачки, детали пресс-форм и штампов. В следующую 2 – ю группу входят детали больших размеров и веса, обработка которых осуществляется в закрепленном и ориентированном положении. Размеры деталей этой группы достигают 500...1000 мм и более. В качестве примеров можно назвать корпусные детали (корпус

редуктора), наконечники лонжерона лопасти вертолета, силовые законцовки нервюр, шатуны дизелей, секции шпангоутов, детали шасси, крыльчатки компрессора и др. Третью группу составляют длинномерные детали, длина которых может достигать 1500...15000 мм и более, при размерах поперечного сечения 150...400мм и более. Примерами деталей этой группы являются лонжероны лопастей вертолетов, стрингеры и панели крыла и фюзеляжа самолетов и др. Сложность обработки длинномерных деталей обусловлена большой площадью обработки, распределенной на значительном расстоянии, низкой изгибной жесткостью, что ограничивает использование интенсивного виброударного воздействия.

На рис.1 представлены примеры деталей рассматриваемых классификационных групп.

**1-я группа**

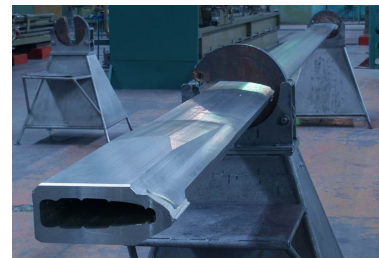
*Детали ограниченных размеров (до 250 мм)*

**2-я группа**

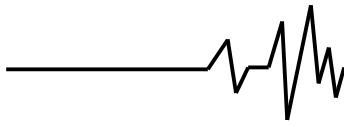
*Крупногабаритные корпусные объемные детали (до 1000 мм)*

**3-я группа**

*Длинномерные детали (до 15000 мм)*



**Рис. 1 Классификация деталей сложной конфигурации, подвергаемых виброударной упрочняющей обработке (на примере деталей летательных аппаратов).**



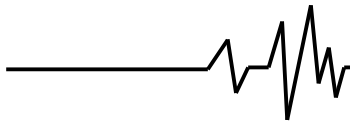
В конструкцию рассматриваемых изделий (летательных аппаратов, судовых механизмов, энергосиловых установок и т.п.) входят силовые детали, подвергаемые упрочняющей обработке поверхностным пластическим деформированием. Учитывая сложную форму их поверхности, наиболее приемлемой оказывается в этом случае виброударная обработка в среде стальных или твердосплавных шаров, роликов и т.п. Известные разработки в этой области предусматривают создание специальных рабочих камер с расположением и закреплением в них, обрабатываемых деталей. Для обеспечения всесторонней и равномерной обработки поверхности детали сложной формы предусматривается её периодическая или непрерывная переориентация относительно траектории колебаний обрабатываемой среды (и рабочей камеры), с введением соответствующих устройств и периодической остановкой для переустановки детали. Рабочая камера с загруженной в нее деталью устанавливается на вибростенд с однокоординатной амплитудой колебаний и подвергается обработке. После завершения цикла обработки деталь извлекается из рабочей камеры, обрабатывающая среда (стальные шары) также извлекаются для промывки и проверки состояния поверхности (отсутствие выкрашиваний, трещин, следов коррозии, сколов и т.п.). К недостаткам этой схемы виброударной обработки относятся: большие затраты времени на выполнение вспомогательных работ (установка и переустановка детали, промывка и контроль рабочей среды), относительно низкая производительность операции, необходимость изготовления большого количества технологической оснастки (отдельных рабочих камер для индивидуальной обработки деталей), высокий уровень шума и загрязненность рабочего места.

Для повышения эффективности обработки и устранения или уменьшения негативного влияния отмеченных недостатков разработаны новые технологические схемы отдельной виброударной обработки плоских деталей сложной конфигурации (1 – я группа), с использованием универсальных вибрационных станков. Обработка осуществляется на станках с торовой и прямоугольной формой рабочей камеры. В первом случае для деталей с размерами до 300 мм, во втором – до 600 мм. Дополнительная модернизация предусматривает встраивание в рабочую камеру разделительных устройств. Рассматриваемые технологические схемы

представлены на рис. 2. Для торовой рабочей камеры разделительное устройство представлено в виде «карусели» имеющей систему решетчатых перегородок, закрепленных на общем дисковом устройстве. «Карусель» установлена соосно с рабочей камерой и циркулирующей рабочей средой и проворачивается вокруг её оси. Решетчатые перегородки также имеют возможность поворачиваться вокруг своей оси, изменяя при этом «парусность» (пропускную способность циркулирующей рабочей среды). «Парусность» перегородок создает подпор среды и её уплотнение, вследствие чего интенсивность обработки возрастает. В рабочую камеру подается технологическая жидкость, обеспечивающая непрерывную очистку обрабатываемой среды (стальных шаров) и поверхность обрабатываемой детали исключая, таким образом, периодическую выгрузку среды для промывки с последующей загрузкой в рабочую камеру. Создание за счет введения разделительных перегородок подвижных отсеков обеспечивает одновременную обработку деталей как одного, так и различных наименований, что весьма привлекательно для изделий изготавливаемых малыми партиями.

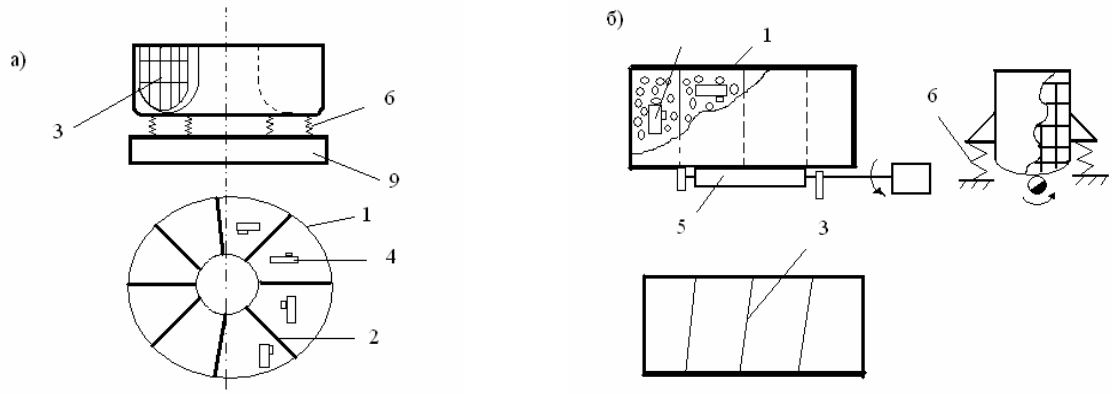
Для обработки деталей более крупных размеров (до 600мм) предложена схема отдельной обработки в рабочей камере прямоугольной формы (рис. 2б). С этой целью в рабочей камере устанавливаются решетчатые перегородки, образующие отсеки для отдельной обработки деталей. Перегородки устанавливаются под некоторым углом к оси рабочей камеры, создавая за счет этого поперечную циркуляцию среды, способствующую повышению равномерности обработки поверхности детали.

Произведена экспериментальная проверка возможности виброударной обработки деталей при свободной загрузке в рабочую камеру. Обработке подвергались детали с габаритными размерами 150 x 200 мм. Материал сталь 30ХГСНА закаленная. Обрабатываемая среда – шары ( $d = 8$  мм), из закаленной стали ШХ15. Режим и продолжительность обработки:  $A = 3$  мм,  $f = 25$  Гц,  $t = 60$  мин. Контроль остаточных напряжений осуществлялся по плоским образцам-свидетелям стандартных размеров. В результате обработки достигнута величина прогиба образцов-свидетелей соответствующая требованиям заводской инструкции. Произведена сравнительная технико-экономическая оценка предлагаемой схемы отдельной виброударной обработки.



Установлено, что по сравнению с действующей схемой обработки аналогичных деталей предлагаемая схема обеспечивает снижение трудоемкости обработки, затрат на заработную плату, энергозатрат, улучшение условий труда, снижение шума и загрязненности рабочего места.

Вместо нескольких (более 10 в рассматриваемом примере) единиц оснащения (рабочих камер к вибростендам) достаточно одной единицы оборудования (вибрационного станка с разделительным устройством в рабочей камере), для обработки всего объема изготавливаемых деталей.

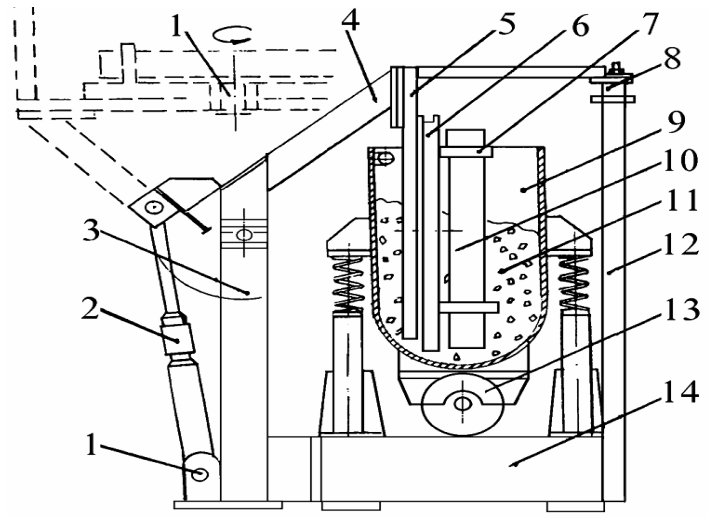


**Рис. 2** Раздельная обработка деталей 1-й классификационной группы  
1 – рабочая камера; 2 – разделительное устройство; 3- перегородка; 4 – обрабатываемые детали; 5 – вибратор; 6 – пружины; 7 – приводной барабан; 8 – тормозная колодка; 9 – основание.

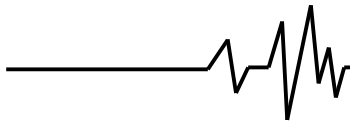
Для обработки деталей 2-й классификационной группы (крупногабаритные детали пространственной формы) предложена схема поэлементной обработки – последовательная обработка такого рода деталей встречается в технологии производства летательных аппаратов, судов и некоторых других отраслей машиностроения. Для виброударной обработки с полным погружением детали в рабочую среду потребовалось бы изготовление крупногабаритного и энергоемкого

оборудования. При этом коэффициент использования вибрационного воздействия оказался бы малоэффективным вследствие рассеивания энергии в большом объеме обрабатываемой среды.

Схема поэлементной обработки крупногабаритных деталей представлена на рис. 3. Она представляет собой компоновку вибрационного станка и подъемно-поворотного устройства (ППУ), предназначенного для закрепления, ввода, переориентации и вывода обрабатываемой детали.



**Рис. 3** Схема поэлементной обработки крупногабаритных деталей сложной формы.  
1 – шарнир; 2 – гидроцилиндр; 3 – стойка; 4 – переключатель; 5 – неподвижная рама; 6 – подвижная рама; 7 – прихват; 8 – зажим; 9 – рабочая камера; 10 – деталь; 11 – рабочая среда; 12 – опора; 13 – вибратор; 14 – станина.

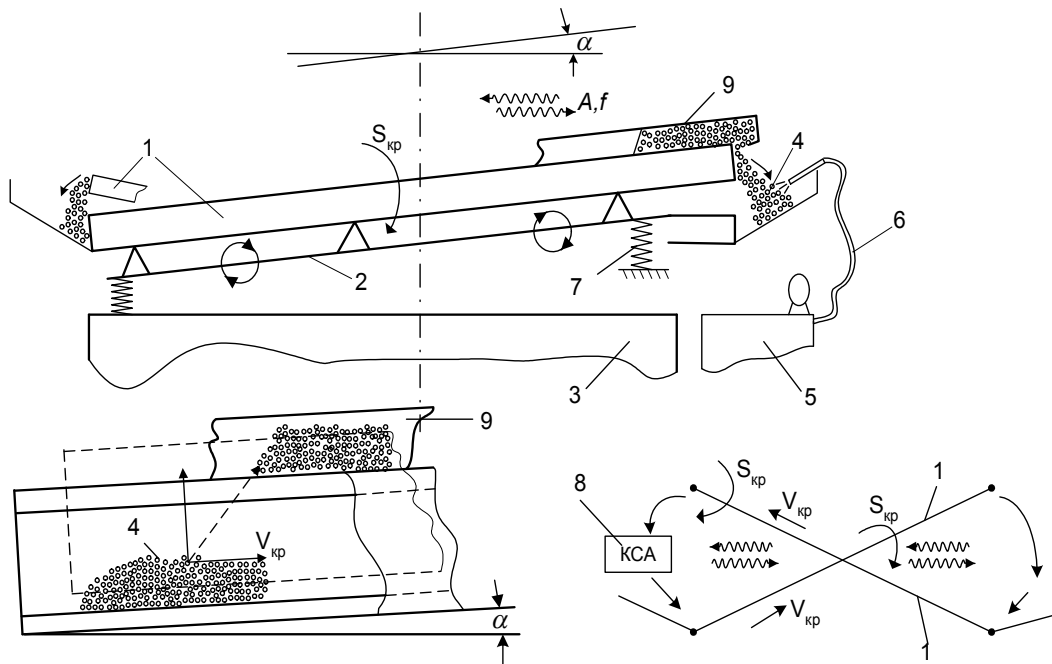


Обработка осуществляется на вибрационном станке с объемом рабочей камеры  $V = 600 \text{ дм}^3$ , дополненным подъемно-поворотным устройством, обеспечивающем последовательную переориентацию детали и обработку отдельных её участков. Поэлементная обработка применяется на одном из предприятий авиационной промышленности для отделки и упрочнения деталей: элементов шпангоутов, наконечников лонжерона лопасти вертолета, деталей шасси. Данная схема характеризуется механизацией ручного труда и существенным повышением производительности, обеспечением равномерности и стабильности параметров качества поверхности, снижением уровня концентрации напряжений.

Транспортно-обрабатывающая технологическая система разработана для

обработки длинномерных деталей сложной формы (длиной 10...15 м и более).

На рис. 4 представлена технологическая схема упрочняющей обработки внутренней и наружной поверхности лонжерона из алюминиевого сплава АВТ-1. В основе этой схемы использовано совмещение процесса вибрационного транспортирования сыпучих (гранулированных) сред и упрочняющей обработки (наклепа). В данном случае обрабатываемая деталь при сообщении ей колебаний является транспортирующей поверхностью среды стальных шаров. Осуществление режима колебаний с подбрасыванием среды стальных шаров обеспечивает виброударное воздействие последней на обрабатываемую поверхность и достижение упрочняющего эффекта.



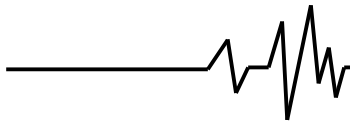
**Рис. 4** Транспортно-обрабатывающая технологическая схема виброударной обработки наружной и внутренней поверхности длинномерной детали:

**1 - обрабатываемая деталь; 2 - виброплатформа; 3 - основание; 4 - рабочая среда; 5 - бак-отстойник; 6 - система циркуляции технологической жидкости; 7 - пружины; 8 - вибропривод; 9 - накладная рабочая камера.**

Вместе с тем рассматриваемая схема характеризуется рядом положительных сторон по сравнению с существующей схемой вибронаклепа: относительно невысокая энергоёмкость, исключение необходимости периодической загрузки и разгрузки среды стальных шаров в полость обрабатываемой детали и обратно, осуществляя при этом

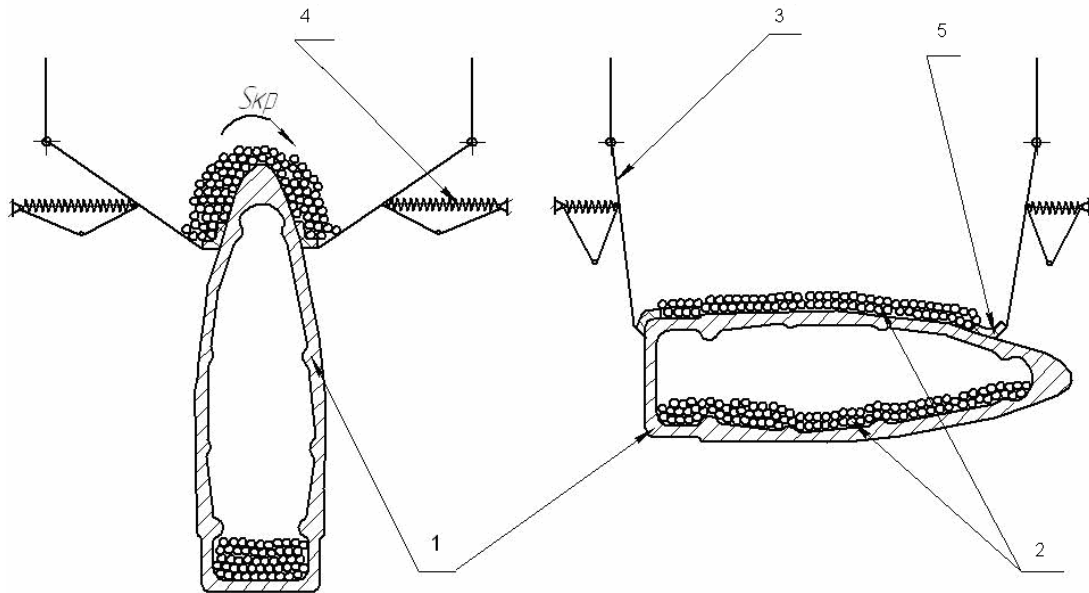
очистку (промывку) стальных шаров, возможность непрерывного контроля состояния поверхности упрочняющих тел (стальных шаров).

Наружная поверхность лонжерона обрабатывается средой стальных шаров загруженных в накладную рабочую камеру коробчатого типа, расположенную над



лонжероном по всей его длине. Сверху рабочей камеры установлен ограничитель (крышка), крепящийся на шарнирах, ограничивающих высыпание среды стальных шаров за пределы рабочей камеры вследствие проявления, транспортирующего эффекта. Боковые грани рабочей камеры (створки) подвижны, посредством шарнирного крепления, и способны принимать требуемое в зависимости от расположения детали

положение. Лонжерону в процессе упрочнения сообщается непрерывная круговая подача. Боковые грани накладной рабочей камеры посередине жестко соединены с подпружиненной системой шарниров. В месте соприкосновения створок рабочей камеры и поверхности лонжерона предусмотрена гибкая резиновая прокладка, для предотвращения повреждения детали.



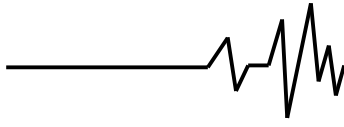
**Рис. 5 Технологическая схема одновременной обработки наружной и внутренней поверхности лонжерона.**

**1 – обрабатываемая деталь (лонжерон); 2 – рабочая среда; 3 – накладная рабочая камера; 4 – система шарниров с пружинным элементом; 5 – прокладка.**

Произведена технико-экономическая оценка реализации схемы ТОТС взамен существующей технологической схемы и оснащения для виброударной обработки лонжерона лопасти вертолета МИ-2 (алюминиевый сплав АВТ – 1). Освоение предложенной транспортно-обрабатывающей технологической системы характеризуется снижением трудоемкости, уменьшением затрат на заработную плату, снижением затрат на потребление электроэнергии. Однако наиболее существенное снижение затрат отмечено по статье расходов на изготовление технологического оснащения (вибростенда, контейнеров, подъемно-транспортных устройств). Общее снижение затрат в связи с изменением технологии виброударного упрочнения дюралевого лонжерона лопасти составило более 19 млн. рублей в расчете на годовую программу.

#### **Литература**

1. Бабичев А.П., Бабичев И.А. Основы вибрационной технологии. – Ростов-н/Д: ДГТУ, 1999.- 620с.
2. Баскаков В.А. Анализ распространения и динамического воздействия ударных волн на деформируемое твердое тело. Автореф. дис. д-р физ.-мат. наук.- Чебоксары, 1991. - 37 с.
3. Бабичев А.П., Мотренко П.Д. и др. «Отделочно-упрочняющая обработка деталей многоконтактным виброударным инструментом». – Ростов-н/Д, ДГТУ, 2003г. - 191с.
4. Ивлевт Д.Д., Быковцев Г.И. Теория упрочняющего пластического тела, М.: Наука, 1971. – 231с.
5. Александров Е.В., Соколянский В.Б. Прикладная теория и расчеты ударных систем. - М.: Наука, 1969. - 197 с.



6. Нигматулин Р.И. О полезности ударной волны. Техника молодежи. 1974, № 10, с.6 – 7

7. Баскаков В.А. Взаимодействие ударных волн в упругопластической среде с упрочнением/ ПМТФ. 1979г., № 6.

8. Палатник Л.С., Равицкая Т.М., Любарский И.М. О механизме образования вторичных структур при импульсном нагружении // ДАН. 1070.Т. 191. № 3, с. 568 – 571

9. Баскаков В.А. Анализ распространения и динамического воздействия ударных волн на

деформируемое твердое тело// Док. дисс. – 1991 – 385с.

10. Мурр Л.Е. Микроструктура и механические свойства металлов и сплавов после нагружения ударными волнами// Ударные волны и явления высокоскоростной деформации металлов. М.: Металлургия. 1984. – 512с.

11. Бабичев А.П., Пастухов Ф.А., Мотренко П.Д., Чучукалов А.П. Анализ технологических схем виброударной упрочняющей обработки длинномерных деталей// Упрочняющие технологии и покрытия. № 5. 2006г. с. 3 – 7.