



2.5.5 – технология и оборудование механической и физико-технической обработки

ЭВОЛЮЦИЯ КОНСТРУКЦИИ МНОГОКОНТАКТНОГО ВИБРОУДАРНОГО ИНСТРУМЕНТА И ОСНОВНЫЕ ПУТИ ЕГО РАЗВИТИЯ

✉¹ **Прокопец Галина Анатольевна**

к.т.н., доцент кафедры «Технология машиностроения» Донского государственного технического университета (РФ)
e-mail: galinepr@mail.ru

Прокопец Анатолий Александрович

вед. инженер кафедры «Технология машиностроения» Донского государственного технического университета (РФ)

Аннотация.

Рассмотрены методы поверхностного пластического деформирования и предложена обобщенная модель технологической системы для отделочно-упрочняющей динамической обработки поверхностным пластическим деформированием. На основе анализа состояния вопроса и перспектив развития метода многоконтатной виброударной обработки предложен алгоритм модернизации многоконтатного виброударного инструмента. Представлена схема инструмента для упрочняющей обработки отверстий, обозначены основные направления эволюции инструмента.

Ключевые слова:

ПОВЕРХНОСТНОЕ ПЛАСТИЧЕСКОЕ ДЕФОРМИРОВАНИЕ, МНОГОКОНТАКТНЫЙ ВИБРОУДАРНЫЙ ИНСТРУМЕНТ, МОДЕРНИЗАЦИЯ, АЛГОРИТМ, МИКРОРЕЛЬЕФ.

¹ Автор для ведения переписки

EVOLUTION OF THE DESIGN OF A MULTI-CONTACT VIBRATION IMPACT TOOL AND THE MAIN WAYS OF ITS DEVELOPMENT

✉¹ **Prokopets Galina Anatolyevna**

candidate of technical sciences, associate professor of the department of "Technology of Machine Building" of the Don State Technical University (RF)
e-mail: galinepr@mail.ru

Prokopets Anatoly Alexandrovich

leading Engineer of the Department "Technology of Machine Building" of the Don State Technical University (RF)

Abstract.

Methods of surface plastic deformation are considered and a generalized model of a technological system for finishing and strengthening dynamic processing by surface plastic deformation is proposed. Based on the analysis of the issue and the prospects for the development of the method of multi-contact vibration shock treatment, an algorithm for the modernization of a multi-contact vibration shock tool is proposed. The scheme of the tool for strengthening hole processing is presented, the main directions of the tool evolution are indicated.

Keywords:

SURFACE PLASTIC DEFORMATION, MULTI-CONTACT VIBRATION IMPACT TOOL, MODERNIZATION, ALGORITHM, MICRORELIEF.

1 Состояние вопроса исследования и актуальность работы

Эксплуатационные свойства деталей машин во многом определяются качеством их поверхности и поверхностного слоя. В настоящее время существует достаточно обширный перечень методов окончательной обработки деталей, формирующих требуемые значения показателей качества их поверхностного слоя. Особое место среди них занимают методы упрочняющей обработки поверхностным пластическим деформированием (ППД), отличающиеся большим разнообразием схем и формируемых при их использовании параметров ка-

чества поверхности и поверхностного слоя деталей. В связи с этим весьма актуальным является поиск решений задач, обеспечивающих расширение технологических возможностей этих методов, модернизации конструкции инструментов и устройств для их реализации. Целью исследования является выявление узких мест одного из таких методов, а именно, многоконтактной виброударной обработки и определение путей ее развития и оптимизации, в том числе на основе обобщенной модели технологической системы обработки динамическими методами поверхностного пластического деформирования.

Методы обработки поверхностным пластическим деформированием [1] делятся на две основные группы: статические (обкатывание, дорнование и др.) и динамические (чеканка, дробеструйная обработка, виброударная обработка [2], многоконтактная виброударная обработка и др.). Каждая из этих разновидностей обработки ППД имеет свои недостатки и достоинства, а также свою область применения. Расширение технологических возможностей таких методов возможно различными путями, в том числе, изменением конструкции инструмента с целью адаптации её к конкретным условиям обработки и к конструктивным особенностям деталей (включая параметры упрочнения и допуски на них), а также проектированием специальной технологической оснастки.

При динамических методах обработки ППД сила воздействия деформирующих тел на обрабатываемую поверхность деталей является величиной переменной, она изменяется в каждом цикле деформации от некоторого минимального (определяемого, в основном, наличием или отсутствием предварительного натяга) до некоторого максимального значения (определяемого, по большей части, видом обработки, характеристиками технологической системы и режимом обработки).

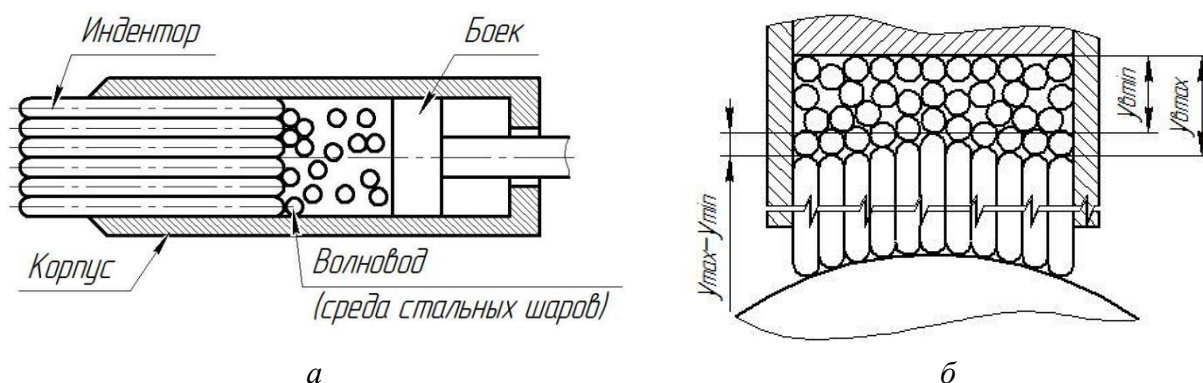
К динамической упрочняющей обработке ППД относится достаточно большое число методов, в том числе:

- виброударная обработка (ВиУО);
- вибрационная ударно-импульсная обработка (ВиУИО);
- центробежно-ротационная упрочняющая обработка (ЦРУО);
- многоконтактная виброударная обработка (МКВиУО);
- дробеструйная обработка (ДО);
- пневмодинамическая обработка (ПДО);
- гидродробеструйная обработка (ГДО);
- ротационная обработка (РО);
- чеканка и др.

Многоконтактная виброударная обработка [3, 4] относится к классу динамических методов ППД. Первоначально МКВиУО была предназначена для упрочняющей обработки наружных поверхностей деталей. Впоследствии этот метод был распространен и для решения других задач.

Структура многоконтактного виброударного инструмента (МКВиУИ) полностью соответствует схеме, представленной на рисунке 1 [8]. Одна из первых классических схем инструмента представлена в Авторском свидетельстве [9]. В качестве энергоносителя первоначально использовался воздух под давлением 0,49 МПа, в качестве источника ударных импульсов использовался молоток клепальный КМП (с энергией удара (Дж) и частотой ударных импульсов (Гц) в зависимости от модели молотка, Дж/Гц: 42/2,5, 5/37, 10/23). Также использовались электромолотки. Постепенно конструкция инструмента изменялась [10, 11, 12, 13 и др.].

На рисунке 1 представлена базовая схема МКВиУИ. Инструмент включает пучок круглых стержней, зафиксированных в нерабочем состоянии с помощью специального цангового зажима, волновод в виде среды стальных закаленных шлифованных шаров и боек, расположенные в корпусе. В качестве силового привода (преобразователя энергии) используются пневмо- или электромолотки клепальные. Среда стальных шаров, обладающая псевдотекучестью, позволяет обрабатывать фасонные поверхности детали и обеспечивает контакт каждого индентора с упрочняемой поверхностью.



а – базовая принципиальная схема МКВиУИ (ШСУ);
б – схема обработки цилиндрической поверхности

Рисунок 1 – Многоконтактная виброударная обработка

Далее в зависимости от задач обработки возникла задача ручной привод заменить механизированным. Поэтому стали использоваться универсальные металлорежущие станки: токарные (для тел вращения), фрезерные и строгальные (для деталей, не являющихся телами вращения, в том числе, для обработки фасонных поверхностей) и др. В этом случае энергоносителем является электродвигатель (электроэнергия). При этом конструкции источника импульсов могут быть весьма разнообразными: механическими (боек, кулачковый механизм и др.), электромагнитными преобразователями, пневмомеханизмами и др.

Волновод в первоначальной конструкции инструмента представляет собой среду стальных шаров, позволявшую равномерно передавать механическую энергию к рабочим телам. Но на всех этапах эволюции конструкции отличительными чертами МКВиУИ являлись широкий диапазон варьирования динамических параметров пластической деформации обрабатываемой поверхности путем изменения формы и размеров пучка инденторов, энергии источника ударных импульсов и др. наряду с простотой и модульностью инструмента, а также с надежностью, универсальностью и невысокой стоимостью как инструмента, так и технологической себестоимостью операции в целом.

Создание дополнительного технологического оснащения, расширяющего технологические возможности обработки, использование наложения дополнительных движений на перемещение пучка индентора, изменение конструкции корпуса для обеспечения доступа к труднодоступным местам деталей дали возможность разработать некоторые узкоспециализированные конструкции инструмента, например, для комбинированной упрочняющей обработки сварных стыков металлических труб большого диаметра [11].

2 Материалы и методы

В работе использованы методы анализа имеющихся решений и синтеза в поиске рациональных решений в области процессов и средств ППД. Проведен анализ исследований в области ППД по базам открытых информационных источников, включая eLIBRARY.RU, с глубиной поиска 1985 ... 2022 гг. На основе обобщения результатов исследований и практики определены тенденции модернизации и оптимизации процесса и средств МКВиУО, разработан алгоритм модернизации конструкции инструмента.

3 Результаты исследования

Несмотря на разнообразие конструкций устройств (оборудование, технологическая оснастка, инструмент и др.), реализующих эти методы, практически все они имеют ряд общих черт. Практически любое из этих устройств в базовой комплектации обобщенно может быть представлено в виде системы, которая состоит из ряда подсистем, реализующих анало-

гичные функции. На основании такого анализа динамических методов ППД разработана обобщенная структурная модель технологической системы упрочняющей динамической обработки ППД деталей, представленная на рисунке 2.

Представим состав подсистем, входящих в обобщенную модель, следующим образом (рис. 2):

I «Преобразователь энергии» – этот элемент может быть представлен в виде различных механизмов, например, электродвигателя (ВиУО, ЦРО и др.), механизма подачи рабочих тел (ГДО, ДО и др.), пневмосистема (МКВиУО) и др.;

II «Источник ударных импульсов» (ИУИ) или «привод» – этот элемент может быть представлен бойком, ротором, исполнительная поверхность рабочей камеры, вибратором и т.д.;

III «Волновод» (чаще всего механический) – это элемент непосредственно передающий энергию деформации и перемещение рабочим телам, представляющим собой пружины, среды стальных шаров с различной степенью уплотнения жидкости или газа и т.п.;

IV «Рабочие тела (тело)» – в качестве элементов этой подсистемы могут использоваться стальные или твердосплавные шары, ролики, звездочки, дробь, система или одиночный индентор и т.д.

Энергия энергоносителя преобразуется преобразователем в механическую энергию, которую источник ударных импульсов приводит к виду, соответствующему необходимым условиям деформации (уровень энергии, частота и / или амплитуда ударных импульсов и др.). Основной задачей источника ударных импульсов является преобразование энергии энергоносителя в механическую энергию, так как при обработке методами ППД деформация поверхности обрабатываемых деталей осуществляется, как правило, в результате механического воздействия. Преобразованная энергия (импульс) подается через волновод к рабочим телам (телу), которые и вступают в контакт с обрабатываемой поверхностью детали, обеспечивая требуемую степень деформации. При этом волновод может передавать энергию без изменения энергетических характеристик или с заданным передаточным отношением.

Инструмент для многоконтактной виброударной обработки по своей структуре полностью соответствует схеме, представленной на рисунке 2.

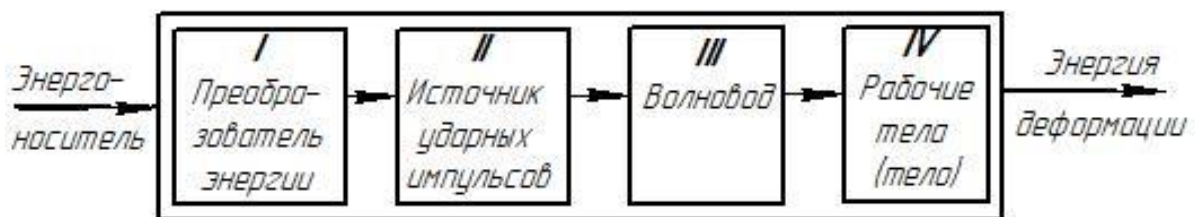


Рисунок 2 – Обобщенная модель системы «Технологическая система для отделочно-упрочняющей динамической обработки ППД»

По основным задачам МКВиУО делится на упрочняющую, отделочную (в том числе, декоративную), отделочно-упрочняющую и стабилизирующую обработку (рис. 3). На данном этапе можно также выделить две основных схемы обработки:

- обработка с целью получения стохастического микрорельефа [5];
- обработка с целью получения регулярных (РМР) или частично регулярных (ЧРМР) микрорельефов [5, 6].

В зависимости от решаемых задач МКВиУИ имеет свои конструктивные особенности и соответствующие технологические параметры.

Например, на рисунке 4 представлена 3D-модели ЧРМР, которые могут быть получены при помощи МКВиУО на плоской и цилиндрической поверхностях.

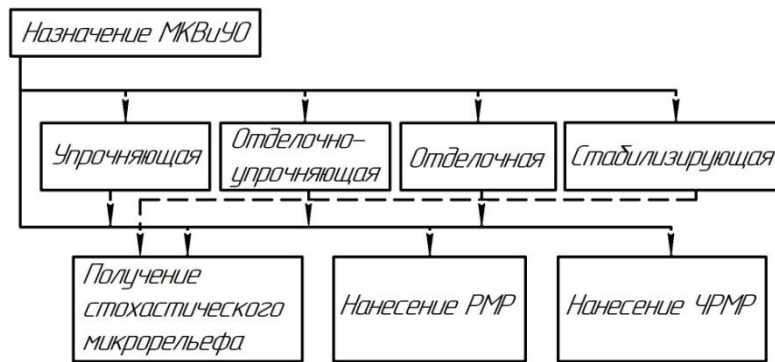
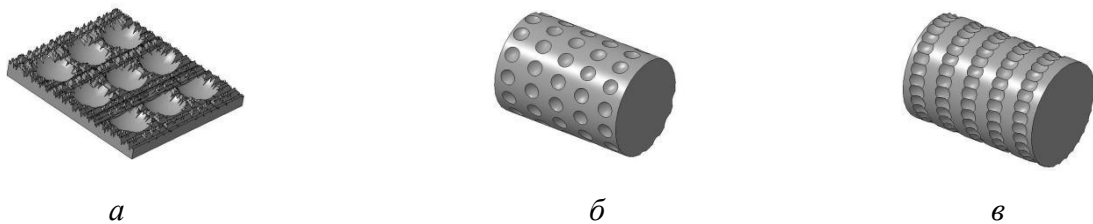


Рисунок 3 – Назначение многоконтактной виброударной обработки

Результаты исследований технологических параметров процесса МКВиУО, подтвержденные экспериментальными данными, позволили установить, что наибольшее влияние на параметры качества поверхностного слоя обработанных деталей оказывает энергия удара источника ударных импульсов, форма и размер заточки инденторов, их число в пучке, а также режим обработки (подача МКВиУИ продольная и / или поперечная в зависимости от формы обрабатываемой поверхности и частота ударов в единицу времени) [3, 7].



a – поверхность плоская, форма лунки – сферическая, расположение элементов – прямоугольное, ЧРМР – дискретный; *б* – цилиндрическая поверхность, форма лунки – сферическая, расположение элементов – по спирали, дискретное; *в* – цилиндрическая поверхность, форма лунки – сферическая, расположение элементов – по спирали непрерывное с неполным пересечением [5]

Рисунок 4 – Получение ЧРМР поверхностей

Как и любой перспективный метод обработки МКВиУО постоянно развивается, инструмент модифицируется, проводятся экспериментальные исследования, позволяющие расширить область применения этой обработки. Однако унифицированной методики разработки или модернизации конструкций МКВиУИ нет. Основными исходными данными при разработке алгоритма модификации конструкции МКВиУИ являются:

- конструктивные характеристики детали (форма, размеры, жесткость, материал) и обрабатываемой поверхности (форма, расположение, размеры, исходная шероховатость, количество обрабатываемых поверхностей) и др.;
- цель обработки (отделка, упрочнение, нанесение РМР или ЧРМР, стабилизация остаточных напряжений) и формируемые параметры качества поверхностного слоя, заданные конструктором;
- ограничения по производительности и технологической себестоимости.

Базовая схема многоконтактной виброударной обработки, представленная на рисунке 1, наиболее целесообразна для обработки наружных поверхностей деталей средних размеров. В классической схеме применяются три формы пучков стержней: круглые, шестигранные и прямоугольные (как частный случай – квадратные). Форма пучка определяется формой и размерами обрабатываемых поверхностей. Форма рабочей части индентора, в основном сферическая (соответственно, и форма пластического отпечатка сферическая), но может быть и иной, особенно при нанесении РМР или ЧРМР или при выполнении декоративной, как раз-

новидности отделочной, обработки.

Объем волновода определяется такими конструктивными особенностями обрабатываемых поверхностей, как расстояние между двумя прямыми, проведенными через наиболее разнесенные в пространстве точки соприкосновения инденторов в сечении обрабатываемой поверхности на длине пучка $y_{max}-y_{min}$ (рис. 1, б).

Энергия источника ударных импульсов определяется материалом заготовки (твердостью, предварительной термообработкой, микроструктурой поверхностного слоя и т.д.) и требуемыми результатами обработки (степенью упрочнения, микрогеометрией поверхности и др. в зависимости от задач обработки).

На основании проведенного анализа методов ППД в общем и МКВиУО, в частности, и с учетом специфики динамически изменяющихся на данном этапе требований к обрабатываемым поверхностям деталей можно предложить в качестве основных направлений эволюции следующие:

– модернизацию волновода (изменение характеристик волновода, например, замена среды стальных шаров при обработке деталей из материалов с низкой твердостью вязкими пластмассами или их смесью со стальными шарами, использование упругой крыльчатки для привода инденторов и др.);

– автоматизацию обработки путем управления перемещением инструмента по заданной траектории или применением адаптивных схем обработки, что значительно повысит надежность результата обработки;

– повышение надежности, в частности, ресурса работы инструмента за счет использования современных материалов и оптимизации размерных характеристик инструмента и др.

На основе проведенного анализа был разработан алгоритм модернизации конструкции многоконтактного виброударного инструмента, включающий в себя следующие этапы:

1 Анализ исходных данных. Выявление необходимости регуляризации рельефа.

2 Определение формы исполнительной (рабочей) части индентора. При формировании стохастического микрорельефа целесообразно принять сферическую форму.

3 Определение величины энергии единичного ударного импульса, режима обработки, минимальной площади поперечного сечения индентора из условия прочности.

4 Определение максимально допустимого габаритного размера инструмента, исходя из формы, расположения и размеров обрабатываемой поверхности (поверхностей).

5 Определение минимально необходимой толщины волновода y_{min} (рис. 1, б), обеспечивающей равномерность передачи энергии ударного импульса ко всем инденторам.

6 Определение минимально необходимой длины индентора в соответствии с формой обрабатываемой поверхности и максимально допустимой длины из условия устойчивости.

7 Определение количества инденторов и определение формы пучка инденторов.

8 Определение энергии источника ударных импульсов с учетом потерь при передаче энергии через волновод. Выбор источника ударных импульсов.

9 Разработка конструкции инструмента. Выявление необходимости проектирования специальной оснастки.

10 Доработка и оформление технологической операции МКВиУО [7, 14, 15].

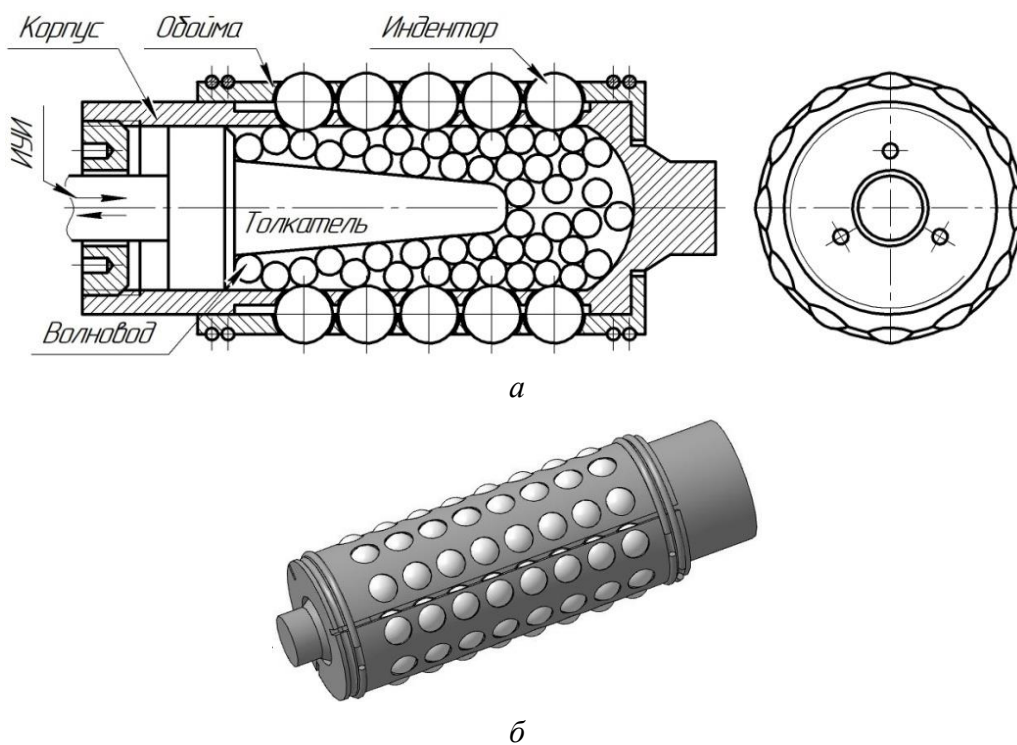
Выполнение отдельных этапов требует выполнения дополнительных экспериментальных исследований. При этом необходимо отметить, что особенно сложно унифицировать проектирование инструмента для труднодоступных участков деталей.

4 Обсуждение и заключение

Эволюция МКВиУО до настоящего времени шла в основном в направлении создания дополнительного технологического оснащения, расширяющего технологические возможности обработки. Развитие оснащения заключается в наложении дополнительных движений на перемещение пучка индентора, изменении конструкции корпуса для обеспечения доступа к труднодоступным местам деталей и др. Выявление основных направлений развития МКВи-

УО позволило разработать алгоритм модернизации конструкции многоконтактного виброударного инструмента. С использованием предложенной методики были разработаны некоторые узкоспециализированные конструкции инструмента, в том числе для упрочняющей обработки отверстий небольших диаметров.

Ранее была разработана конструкция инструмента для обработки отверстий, однако основным недостатком данной конструкции является отсутствие корпуса (в качестве корпуса используется обрабатываемая деталь, точнее отверстие в ней), а, следовательно, необходима дополнительная довольно сложная специальная технологическая оснастка. На рисунке 5 представлена принципиально новая схема (а) и модель (б) инструмента для упрочнения отверстий. Длина индентора принята минимальной, в результате форма индентора становится сферической с диаметром, равным диаметру заточки рабочей части индентора. Это практически не позволяет обрабатывать отверстия фасонной формы. При обработке таких отверстий должны использоваться инденторы с поперечным сечением направляющей части в виде цилиндра, квадрата или шестигранника. Толкатель имеет форму конуса для более равномерной передачи энергии ударного импульса к инденторам, при этом требуется моделирование и экспериментальное подтверждение правильности выбора соотношения диаметров шаров волновода и радиуса контактной поверхности индентора. Обработка производится при продольной подаче и вращении инструмента с малой угловой скоростью. В связи с этим требуется механизированный привод для инструмента, обеспечивающий его вращение и продольную подачу.



а – схема инструмента; б – 3D-модель инструмента

Рисунок 5 – Многоконтактный виброударный инструмент для упрочняющей обработки отверстия

Однако в качестве волновода могут применяться и другие среды, обладающие свойствами псевдожидкости, а также некоторые упругие элементы (например, упругие лопасти крыльчатки или пружины и т.д.).

Таким образом, несмотря на имеющиеся сложности унификации процесса модернизации инструмента для МКВиУО, особенно при обработке труднодоступных участков деталей, предложенная методика позволяет упростить эту процедуру и уменьшить затраты на экспе-

риментальные исследования. Также проведенный анализ позволяет утверждать, что многоконтактная виброударная обработка является перспективным методом обработки, обладающим высокой гибкостью и имеющим большие технологические возможности и широкие перспективы развития.

Список литературы

- 1 Обработка поверхностным пластическим деформированием. Термины и определения. ГОСТ 18296-72. М. : Государственный комитет стандартов, 1972.
- 2 Бабичев, А. П. Основы вибрационной технологии. – Ростов н / Д, 1999.
- 3 Влияние условий многоконтактной виброударной обработки на формирование микрорельефа поверхности обрабатываемой детали. Сборник трудов научно-технической конференции «Современные тенденции развития инструментальных систем и металлообрабатывающих комплексов» / Прокопец Г. А. [и др.]. г. Ростов-на-Дону, изд. ДГТУ, 2022. – С. 141-145.
- 4 Аксенов, В. Н. Совершенствование процесса отделочно-упрочняющей обработки многоконтактным виброударным инструментом с учетом ударно-волновых явлений. Дис. ... канд. техн. наук, Ростов н / Д, 2000. – 193 с.
- 5 Поверхности с регулярным микрорельефом. Классификация, параметры и характеристики. ГОСТ 24773-81.
- 6 Прокопец, Г. А. Формирование частично регулярного микрорельефа многоконтактной виброударной обработкой / Прокопец Г. А., Прокопец А. А. // Упрочняющие технологии и покрытия, 2022. Т. 18, № 1 (205). С. 14-17.
- 7 Энергетический подход к проектированию эффективных технологий упрочнения ППД свободнотолкающимися инденторами. / Лебедев В. А. [и др.]. // Упрочняющие технологии и покрытия. № 5 (101), 2013. – С. 6-12.
- 8 А. с. 1230808. СССР Устройство для поверхностной отделочно-упрочняющей обработки деталей / А. П. Бабичев, И. А. Бабичев, В. А. Самадунов, М. А. Сергеев ; заявл. 21.01.1985 ; опубл. 15.05.1986.
- 9 А. с. 1539051 СССР. Устройство для поверхностной отделочно-упрочняющей обработки деталей / А. П. Бабичев, И. А. Бабичев, М. А. Сергеев, Ю. А. Семькин ; заявл. 21.03.1988 ; опубл. 30.01.1990.
- 10 Патент на изобретение RUS 2025261. Устройство для отделочно-упрочняющей обработки поверхностей деталей / Бабичев А. П., Бабичев И. А., Прокопец Г. А. ; заявл. 1992.04.14 ; опубл. 1994.12.30.
- 11 Патент на полезную модель RU 165507 U1. Устройство для комбинированной упрочняющей обработки сварных стыков металлических труб большого диаметра / Бутенко В. И. , Бабичев А. П., Гусакова Л. В ; заявл. 11.11.2015 ; опубл. 10.07.2016.
- 12 А. с. 1280394 СССР. Устройство для упрочнения внутренних поверхностей деталей / А. П. Бабичев, Н. М. Оськин, С. Б. Крашеница, И. А. Бабичев, М. А.Тамаркин, А. Б. Коровайко ; заявл. 24.07.1985 ; опубл. 30.01.1987.
- 13 Патент : Шарико-стержневой упрочнитель модернизированный (ШСУМ). А. П. Бабичев, П. Д. Мотренко, Н. С. Коваль, А. П. Чучукалов ; заявл. 10.09.2012 ; опубл. 20.04.2014.
- 14 Проектирование технологических процессов обработки шарико-стержневым упрочнителем с учетом обеспечения их надежности / Тамаркин М. А. [и др.]. Ж. : Упрочняющие технологии и покрытия, 2020. Т. 16, № 2 (182). Изд. "Инновационное Машиностроение". С. 74-77.
- 15 Шевцов, С. Н. Методика расчета конструктивных элементов многоконтактного виброударного инструмента ШСУ / Шевцов С. Н., Аксенов В. Н. Холоденко Н. Г. – ДГТУ, Вопросы вибрационной технологии. 2000. – С. 39-46.

References

- 1 Surface plastic deformation treatment. Terms and Definitions. GOST 18296-72. Moscow : State Committee of Standards, 1972.
- 2 A. P. Babichev, I. A. Babichev Fundamentals of vibration technology. – Rostov-on-Don, 1999.
- 3 Prokopets G. A. Influence of the conditions of multi-contact vibration shock treatment on the formation of the microrelief of the surface of the workpiece. Proceedings of the scientific and technical conference "Modern trends in the development of tool systems and metalworking complexes"/ Prokopets G. A., Melnikova E. P., Datsenko P. V., Burov A. G. Rostov-on-Don, publishing house of DSTU, 2022. pp. 141-145.
- 4 Aksenov V. N. Improvement of the process of finishing and strengthening treatment with a multi-contact vibrating impact tool taking into account shock-wave phenomena. Dissertation of Candidate of Technical Sciences, Rostov-on-Don, 2000. – 193 pages.
- 5 Surfaces with regular microshape. Classification, parameters and characteristics. GOST 24773-81.
- 6 Prokopets G. A. Formation of a partially regular microrelief by multi-contact vibration shock treatment / Prokopets G. A., Prokopets A. A. Journal Strengthening Technologies and coatings, 2022. Vol. 18, № 1 (205). Publishing House "Innovative Mechanical Engineering". pp. 14-17.
- 7 An energy approach to the design of effective technologies for strengthening PPD with free-moving indentors. / Lebedev V. A. [and others]. Moscow : Publishing House "Innovative Mechanical Engineering" Journal "Strengthening technologies and coatings". № 5 (101), 2013. pp. 6-12.
- 8 A. S. 1230808. USSR "Device for surface finishing and hardening of parts" / A. P. Babichev, I. A. Babichev, V. A. Samodurov, M. A. Sergeev ; announced 21.01.1985 ; published 15.05.1986.
- 9 A. S. 1539051 USSR. Device for surface finishing and hardening processing of parts / A. P. Babichev, I. A. Babichev, M. A. Sergeev, Yu. A. Semykin; announced 03.21.1988 ; published 30.01.1990.
- 10 Patent for the invention RUS 2025261. A device for finishing and strengthening the surfaces of parts / Babichev A. P., Babichev I. A., Prokopets G. A. ; announced 1992.04.14 ; published 1994.12.30.
- 11 Utility model patent RU 165507 U1. A device for combined hardening treatment of welded joints of large-diameter metal pipes / Butenko V. I., Babichev A. P., Gusakova L. V ; announced 11.11.2015 ; published 10.07.2016.
- 12 A. S. 1280394 USSR. A device for strengthening the internal surfaces of children / A. P. Babichev, N. M. Oskin, S. B. Krashenitsa, I. A. Babichev, M. A. Tamarkin, A. B. Korovaiko ; declared 24.07.1985 ; published 30.01.1987.
- 13 Patent : Ball-rod hardener upgraded (NOISE). A. P. Babichev, P. D. Motrenko, N. S. Koval, A. P. Chuchukalov ; announced 10.09.2012 ; published 20.04.2014.
- 14 Design of technological processes of processing with a ball-rod hardener, taking into account ensuring their reliability / Tamarkin M. A. [and others]. Journal of Hardening Technologies and Coatings, 2020. Vol. 16, № 2 (182). Publishing House "Innovative Mechanical Engineering". pp. 74-77.
- 15 Shevtsov S. N. Method of calculation of structural elements of a multi-contact vibration impact tool SHSU / Shevtsov S. N., Aksenov V. N. Kholodenko N. G. – DSTU, Questions of vibration technology. 2000. – pp. 39-46.

© Прокопец Г.А., Прокопец А.А., 2022