

УДК 621.787.6.004

DOI: 10.12737/article\_5a337fbc06cd34.89965584

А.В. Киричек, С.В. Баринов, А.В. Яшин, А.А. Зайцев, А.М. Константинов

**ВОЛНОВОЕ ДЕФОРМАЦИОННОЕ МНОГОКОНТАКТНОЕ НАГРУЖЕНИЕ**

Представлены данные о влиянии числа, геометрии, расположения инструментов в многоконтактной ударной системе на распределение микротвердости в поверхностном слое. Экспериментально установлена возможность многоконтактных ударных систем передавать в очаг деформации большую суммарную энергию ударного импульса. Показано, что производительность многоконтакт-

ных ударных систем может быть повышена на 50%, без ухудшения параметров упрочнения, за счет увеличения расстояния между инструментами с плоским типом торца.

**Ключевые слова:** ударный импульс, упрочнение, волна деформации, микротвердость, волновод, боек, ударная система.

A.V. Kirichek, S.V. Barinov, A.V. Yashin, A.A. Zaitsev, A.M. Konstantinov

**WAVE DEFORMATION MULTI-CONTACT LOADING**

The ongoing investigations are devoted to the study of the impact of a number, geometry, tool location in the multi-contact percussion system upon micro-hardness distribution in a surface layer. The investigations were carried out on the bench specially developed. As a result it is established that the application of tools with a flat end in comparison with the form of the end sharpened spherically with the same dimensions of areas with maximum micro-hardness allowed obtaining a strengthening depth by a factor of 2-2.5 times more. The increase of a distance between tools for a value equal to half their diameter allowed flat end indenters in comparison with the end sharpened spherically to

increase an area with maximum micro-hardness from 0.25 to 0.8 mm and to ensure complete strengthening the whole area under consideration. Without worsening strengthening parameters at the same impact energy the investigation data allow increasing by 50% the efficiency of strengthening treatment at the expense of the application of the multi-contact system in which tools with flat cutters are located at the distance from each other equal to half their diameter.

**Key words:** impact pulse, strengthening, deformation wave, micro-hardness, waveguide, striker, percussion system.

**Введение**

Повышение КПД ударных систем возможно за счет более полного использования энергии волн деформации. Это достигается путем подвода энергии ударного импульса в зону деформации через промежуточное звено - волновод. Такой подвод энергии непосредственно оказывает влияние на форму ударного импульса, определяющую долю энергии удара, затрачиваемую на упругопластическую деформацию.

Выполненные А.В. Киричком и Д.Л. Соловьевым исследования ударных систем с одним промежуточным звеном, формирующих пролонгированный ударный импульс, доказали эффективность их применения для решения широкого спектра задач в машиностроении [1; 9]. Полученные ранее данные теории упрочнения материала волной деформации применимы только для одноконтактных ударных систем, содержащих один инструмент стержневой

формы. Поэтому их использование для описания процессов распространения ударных импульсов при многоконтактных схемах нагружения затруднено.

Многоконтактные ударные системы обладают рядом достоинств по сравнению с одноконтактными в плане воздействия на полупространство [5-8]. Так, при установлении закономерностей распределения энергии ударных волн в изолированной среде нагружения в многоконтактных ударных системах в зависимости от типа, геометрических форм единичных инденторов и их числа выявлено, что [2]:

- увеличение эксцентриситета между осями симметрии волновода (или инструмента) и бойка способствует уменьшению доли энергии, передаваемой в очаг деформации;

- применение многоконтактных схем нагружения позволяет передавать в очаг

деформации большую суммарную энергию ударного импульса; при этом приходящаяся на каждый волновод доля энергии ударного импульса падает в многоконтактной схеме по сравнению с одноконтактной (для волноводов стержневой формы - на 20%, а для инструментов в форме шара - на 15%) при установке каждого следующего волновода (или инструмента) в ударную систему.

Полученные ранее данные об особенностях распределения энергии внутри

ударной системы не позволяют получить достаточно полное представление об одновременном воздействии на полупространство ударных импульсов, прошедших через многоконтактную ударную систему.

Целью данных исследований является установление взаимосвязи между распределением микротвердости в поверхностном слое и числом, геометрией, расположением инструментов в многоконтактной ударной системе.

### Материалы и методы исследований

Исследования проводились на специально разработанном экспериментальном стенде, позволяющем нагружать упрочняемую поверхность одновременно че-

тырьмя инструментами. На рис. 1 представлена трехмерная модель стенда, дающая представление о его устройстве.

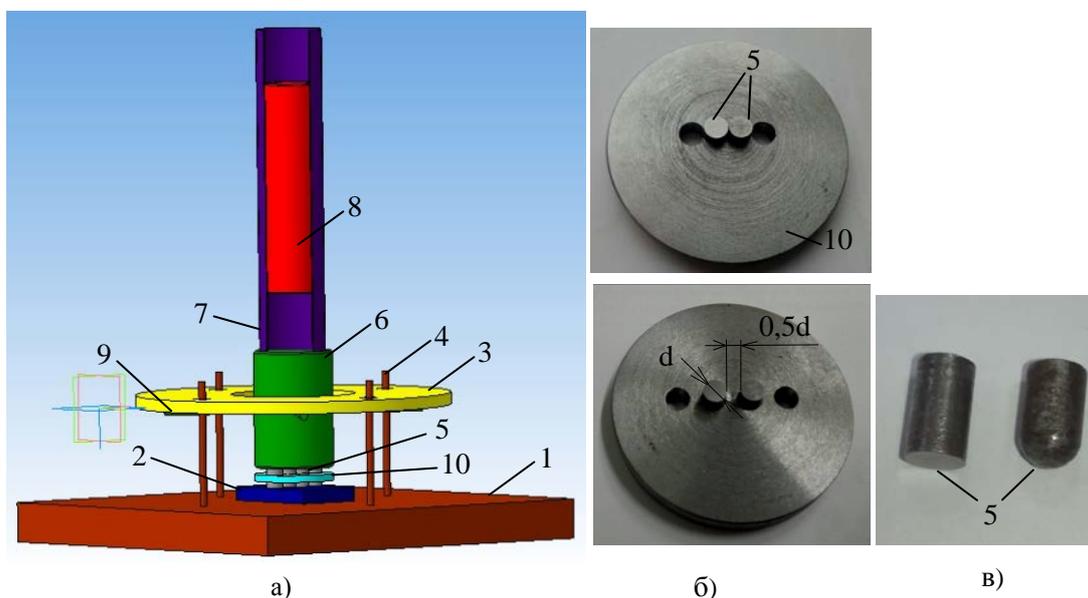


Рис. 1. Экспериментальный стенд: а - трехмерная модель стенда; б - примеры установки в сепараторе двух инструментов без зазора и на расстоянии, равном половине их диаметра ( $0,5d$ ); в - типы инструментов (с плоским торцом и торцом, заправленным под сферу)

Экспериментальный стенд состоит из основания 1, на котором размещен нагружаемый образец 2. Инструменты (индензоры) 5 осуществляют многоконтактное нагружение образца 2. На нагружаемом образце 2 размещены инструменты 5, которыми создается предварительное статическое поджатие через волновод 6, поджимаемый к основанию 1 через упорные стержни 9, с помощью пластины 3 и винтов 4. Статическое поджатие необходимо для более полной передачи в очаг деформации энергии ударного импульса. Нагружение образца 2 ударными импульсами

происходит через волновод 6 с помощью бойка 8, который под действием гравитации свободно перемещается по направляющей 7.

Для реализации системы нагружения с промежуточным звеном использовались цилиндрический волновод диаметром 80 мм и длиной 100 мм и боек диаметром 50 мм и длиной 100 мм, изготовленные из стали 40Х. В качестве инструментов 5, деформирующего образец 2, поочередно применялись стержни диаметром 6 мм и длиной 10 мм двух геометрических типов: с плоским торцом и торцом, заправленным

под сферу. В ударной системе одновременно могут использоваться от одного до четырех инструментов. Точность размещения инструментов 5 между собой и на поверхности нагружаемого образца 2 контролируется с помощью сепаратора 10. Нагружаемый образец 2 размерами 100x100x16 мм изготовлен из сплава АМГ2 и имеет исходную микротвердость  $H_{\mu}=50$  HV. Таким образом, упрочненной областью будут считаться участки, имеющие микротвердость, равную или превышающую 60 HV.

Для оценки влияния расстояния между инструментами в ударной системе на распределение микротвердости в поверхностном слое использовались разные виды сепараторов. Они позволяли располагать инструменты в одном случае непосредственно рядом друг с другом (без зазора), в другом - на расстоянии, равном половине их диаметра (0,5d). Сначала эксперимент проводился с использованием инструментов с плоской формой торца, затем - с формой торца, заправленного под сферу.

### **Исследование влияния числа, геометрии, расположения инструментов в многоконтактной ударной системе на распределение микротвердости в поверхностном слое**

#### ***Исследование влияния числа и расположения инструментов с плоским торцом на распределение микротвердости в поверхностном слое***

Сравнение эпюр распределения микротвердости после удара одним инструментом с плоским торцом (рис. 2а) и двумя такими же инструментами, расположенными без зазора (рис. 3а) и на расстоянии 0,5d друг от друга (рис. 4а), выявило, что установка второго индентора в обоих случаях привела к уменьшению в поверхностном слое максимального значения твердости ( $H_{\mu_{\max}}$ ) с 90 HV до 80 HV. Глубина упрочнения ( $h_{\max}$ ) при этом не изменилась и составила 7 мм.

Установка без зазора третьего инструмента (рис. 3б) не изменила величину  $H_{\mu_{\max}}$  и привела лишь к уменьшению глубины упрочнения с 7 до 4,5 мм.

Увеличение расстояния между инструментами с плоским торцом на величину 0,5d и добавление третьего инструмента (рис. 4б) привело к повышению глубины

Вначале в ударную систему устанавливался один инструмент и производился удар. Затем эксперимент проводился с двумя, тремя и четырьмя инструментами. Во всех случаях удар бойка по волноводу наносился с одной и той же энергией 29,6 Дж. Эффективность ударной системы оценивалась посредством карт микротвердости. Микротвердость на глубине 0...7 мм определялась путем измерения микрошлифов в автоматическом режиме на цифровом стационарном твердомере KB30S. Микрошлифы подготавливались на программируемом шлифовально-полировальном станке LS250A в автоматическом режиме. Исследования проводились на базе научно-производственной лаборатории волнового деформационного и комбинированного упрочнения в аддитивных и субтрактивных технологиях Брянского государственного технического университета.

упрочнения с 4,5 до 6 мм и не вызвало изменения величины  $H_{\mu_{\max}}$  (80 HV) и толщины области с максимальной микротвердостью ( $h=0,25$  мм).

Установка в ударную систему четвертого инструмента без зазора (рис. 3в) привела к повышению максимального значения твердости с 80 HV до 90 HV и толщины данной области с 0,25 до 0,6 мм. Глубина упрочнения при этом также выросла с 4,5 до 5,5 мм.

Добавление четвертого инструмента и увеличение расстояния между инструментами на величину 0,5d (рис. 4в) снизило величину  $H_{\mu_{\max}}$  с 90 HV до 80 HV, но при этом толщина области с максимальным упрочнением выросла с 0,6 до 0,8 мм, а общая глубина упрочнения - с 5,5 до 7 мм.

#### ***Исследование влияния числа и расположения инструментов с торцом, заправленным под сферу, на распределение микротвердости в поверхностном слое***

Сравнение эпюр распределения микротвердости после удара одним инструментом с торцом, заправленным под сферу (рис. 2б), и двумя такими же инструментами, расположенными без зазора (рис. 5а), выявило, что установка второго индентора привела к уменьшению максимального значения микротвердости в поверхностном слое ( $H_{\mu_{\max}}$ ) с 90 HV до 80 HV и толщины области с максимальным упрочнением с 0,65 до 0,25 мм. Глубина упрочнения при этом также снизилась с 3 до 2 мм.

Увеличение расстояния между двумя инструментами с торцом, заправленным под сферу, на величину  $0,5d$  (рис. 6б) привело к повышению максимального значения микротвердости с 80 HV до 90 HV и глубины упрочнения с 2 до 3,5 мм.

Установка без зазора трёх инструментов (рис. 5б) позволила повысить и  $H_{\mu_{\max}}$  (с 80 HV до 90 HV), и толщину области с максимальным упрочнением (с 0,25 до 0,7 мм), и общую глубину упрочнения (с 2 до 2,5 мм).

Увеличение расстояния между тремя инструментами с торцом, заправленным под сферу (рис. 6б), на величину  $0,5d$  привело к формированию после удара под каждым инструментом локальных упрочненных зон с  $H_{\mu_{\max}}$ , которые не перекрываются между собой и не формируют единой упрочненной области. Это вызвало уменьшение и максимального значения микротвердости (с 90 HV до 70 HV), и толщины участков с максимальным упрочнением (с 0,7 до 0,25 мм), и глубины упрочнения (с 2,5 до 2 мм).

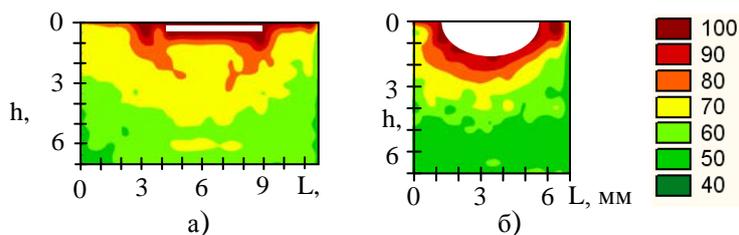


Рис. 2. Эпюры распределения микротвердости (HV) в поверхностном слое после одиночного удара инструментом: а - с плоским торцом; б - с торцом, заправленным под сферу

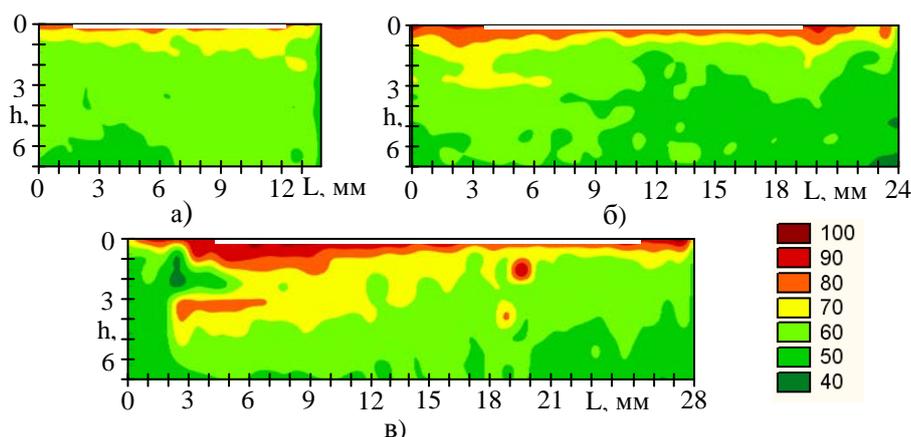


Рис. 3. Эпюры распределения микротвердости (HV) в поверхностном слое после удара двумя (а), тремя (б), четырьмя (в) расположенными рядом инструментами с плоским торцом

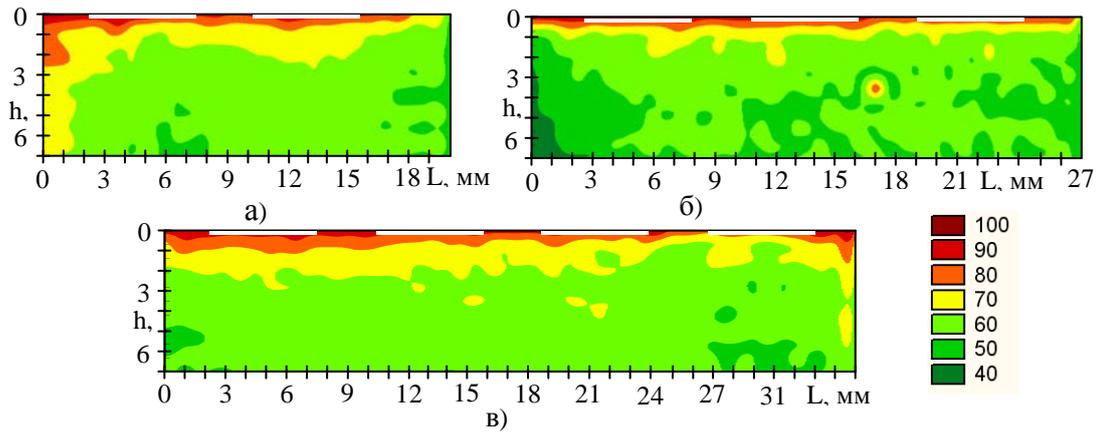


Рис. 4. Эпюры распределения микротвердости (HV) в поверхностном слое после удара двумя (а), тремя (б), четырьмя (в) инструментами с плоским торцом, расположенными на расстоянии  $0,5d$

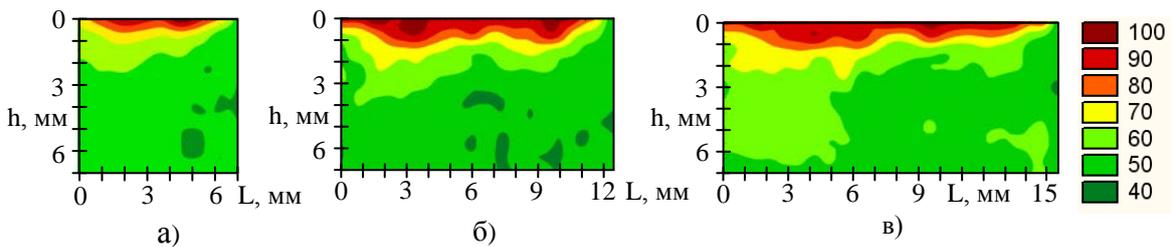


Рис. 5. Эпюры распределения микротвердости (HV) в поверхностном слое после удара двумя (а), тремя (б), четырьмя (в) расположенными рядом инструментами с торцом, заправленным под сферу

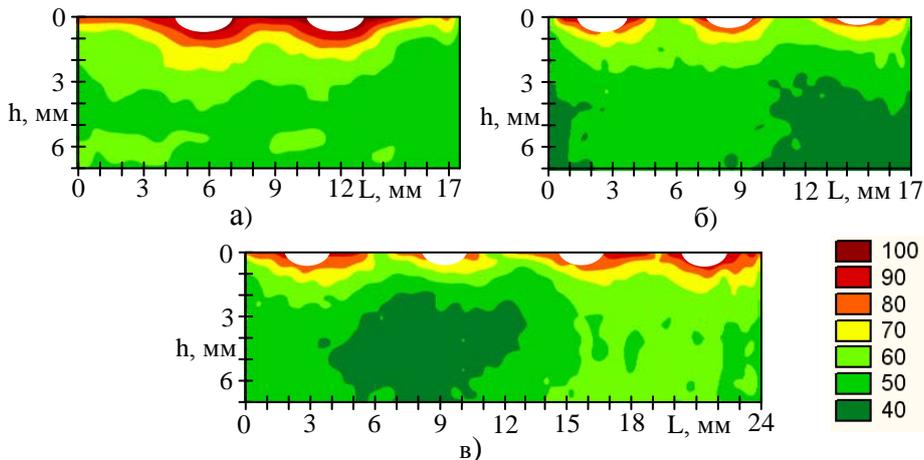


Рис. 6. Эпюры распределения микротвердости (HV) в поверхностном слое после удара двумя (а), тремя (б), четырьмя (в) инструментами с торцом, заправленным под сферу, расположенными на расстоянии  $0,5d$

Установка без зазора четвертого инструмента (рис. 5в) не изменила величину  $H_{\mu_{\max}}$  (90 HV) и привела лишь к уменьшению глубины упрочнения с 2,5 до 2 мм.

Увеличение расстояния между четырьмя инструментами с торцом, заправленным под сферу (рис. 6в), на величину  $0,5d$  привело к формированию после удара под каждым инструментом локальных упрочненных зон с  $H_{\mu_{\max}}$ , которые не пере-

крываются между собой и не формируют единой упрочненной области. Это вызвало уменьшение и максимального значения микротвердости (с 90 HV до 70 HV), и толщины участков с максимальным упрочнением (с 0,7 до 0,25 мм), и глубины упрочнения (с 2 до 1,5 мм).

Все результаты по упрочнению плоскими и сферическими инденторами представлены в таблице.

Таблица

Значения  $H_{\mu \max}$ ,  $h$  и глубины упрочнения в зависимости от количества и формы инденторов

Количество инденторов	Плоские инденторы						Сферические инденторы					
	Установка без зазора			Установка с зазором			Установка без зазора			Установка с зазором		
	$H_{\mu \max}$		Глубина упрочнения, мм	$H_{\mu \max}$		Глубина упрочнения, мм	$H_{\mu \max}$		Глубина упрочнения, мм	$H_{\mu \max}$		Глубина упрочнения, мм
	$H_{\mu}$ , %	$h$ , мм		$H_{\mu}$ , %	$h$ , мм		$H_{\mu}$ , %	$h$ , мм		$H_{\mu}$ , %	$h$ , мм	
1	90	0,25	7	-	-	-	90	0,65	3	-	-	-
2	80	0,2	7	80	0,3	7	90	0,25	2	90	0,25	3,5
3	80	0,25	4,5	80	0,25	6	90	0,7	2,5	70	0,25	2
4	90	0,6	5,5	80	0,8	7	90	0,7	2	70	0,25	2,5

***Сравнение воздействий инструментов с плоской формой торцов и формой торцов, заправленных под сферу, на распределение микротвердости в поверхностном слое***

Сопоставление эпюр распределения микротвердости в поверхностном слое, полученных после удара по одиночным инструментам, позволило установить, что при одинаковой создаваемой максимальной микротвердости 90 HV инструменты с торцом, заправленным под сферу (рис. 2б), позволяют увеличить в 2,6 раза толщину области с максимальной микротвердостью, а инденторы с плоским торцом (рис. 2а) - сформировать в 2,3 раза большую глубину упрочнения.

После удара по двум расположенным рядом инструментам при одинаковой создаваемой максимальной микротвердости в поверхностном слое 80 HV инденторы с торцом, заправленным под сферу (рис. 5а), позволили увеличить толщину области с максимальной микротвердостью с 0,2 до 0,25 мм, а инструменты с плоским торцом (рис. 3а) - повысить глубину упрочнения с 2 до 7 мм.

Увеличение расстояния между двумя инструментами на величину половины диаметра инструмента (0,5d) позволило инденторам с торцом, заправленным под сферу (рис. 6а), обеспечить увеличение в поверхностном слое максимального значения микротвердости ( $H_{\mu \max}$ ) с 80 HV до 90 HV. Применение инденторов с плоским торцом (рис. 4а), по сравнению с инструментами, имеющими торец, заправленный под сферу (рис. 6а), привело к уменьшению в поверхностном слое толщины участков с максимальным упрочнением с 0,3

до 0,25 мм и глубины упрочнения с 7 до 3,5 мм.

Сравнение эпюр распределения микротвердости в поверхностном слое, полученных после удара по трем расположенным рядом инструментам, позволило установить, что инденторы с торцом, заправленным под сферу (рис. 5б), по сравнению с инструментами с плоским торцом (рис. 3б), позволяют обеспечить в поверхностном слое увеличение  $H_{\mu \max}$  с 80 HV до 90 HV и толщины области с максимальным упрочнением с 0,25 до 0,7 мм. Повышение глубины упрочнения с 2,5 до 4,5 мм стало возможным только после применения инструмента с плоским торцом.

Увеличение расстояния между тремя инструментами на величину 0,5d позволило инденторам с плоским торцом (рис. 4б), по сравнению с инденторами с торцом, заправленным под сферу (рис. 6б), повысить и  $H_{\mu \max}$  (с 70 HV до 80 HV), и глубину упрочнения (с 2 до 6 мм). Однако области с максимальным значением микротвердости образуются только под отпечатком удара инструмента (рис. 6б), не перекрываются между собой и не формируют единой упрочненной области, такой как после удара индентора с плоским торцом (рис. 4б).

После удара по четырем расположенным рядом инструментам при одинаковой создаваемой максимальной микротвердости в поверхностном слое 90 HV использование инденторов с торцом, заправленным под сферу (рис. 5в), позволило увеличить толщину области с максимальной микротвердостью с 0,6 до 0,7 мм, а использование инструментов с плоским торцом (рис. 3в) привело к повышению глубины упрочнения с 2 до 5,5 мм. Увели-

чение расстояния между четырьмя инструментами на величину  $0,5d$  позволило инденторам с плоским торцом (рис. 4в), по сравнению с инденторами с торцом, заправленным под сферу (рис. 6в), повысить

### Заключение

Итак, в результате проведенных исследований влияния числа, геометрии, расположения инструментов в многоконтактной ударной системе на распределение микротвердости в поверхностном слое можно сделать следующие выводы:

1. Установлено, что применение инструментов с плоской формой торца, по сравнению с формой торца, заправленного под сферу, позволяет при одинаковых размерах областей с максимальной микротвердостью получить в 2-2,5 раза большую глубину упрочнения.

2. Увеличение числа инструментов рассматриваемых типов (расположенных рядом) с 2 до 4 привело к повышению максимального значения микротвердости с 80 HV до 90 HV и толщины области с максимальной микротвердостью с 0,2 до 0,6 мм. Увеличение с 2 до 4 числа инструментов с формой торца, заправленного под сферу,

и  $H_{\mu_{\max}}$  (с 70 HV до 80 HV), и толщину области с максимальной микротвердостью (с 0,25 до 0,8 мм), и глубину упрочнения (с 1,5 до 7 мм).

практически не изменило глубину упрочнения ( $h_{\max} \approx 2,2$  мм), а применение инструментов с плоской формой торца привело к ее уменьшению с 7 до 5,5 мм.

3. Увеличение расстояния между инструментами на величину, равную половине их диаметра, позволило инденторам с плоской формой торца, по сравнению с формой торца, заправленного под сферу, увеличить с 0,25 до 0,8 мм толщину области с максимальной микротвердостью и обеспечить полное упрочнение всей рассматриваемой области ( $h_{\max} = 7$  мм). Это позволяет без ухудшения параметров упрочнения при одной и той же энергии удара повысить на 50% производительность упрочняющей обработки с использованием многоконтактной системы, в которой инденторы с плоской формой торца располагаются на расстоянии друг от друга, равном половине их диаметра.

*Исследования выполнены при поддержке гранта РФФИ № 16-08-01240 А.*

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Киричек, А.В. Технология и оборудование статико-импульсной обработки поверхностным пластическим деформированием / А.В. Киричек, Д.Л. Соловьев, А.Г. Лазуткин. - М.: Машиностроение, 2004. - 288 с. - (Б-ка технолога).
2. Механика нагружения поверхности волной деформации / А.Г. Лазуткин, А.В. Киричек, Ю.С. Степанов, Д.Л. Соловьев. - М.: Машиностроение-1, 2005. - 149 с.
3. Киричек, А.В. Влияние параметров гетерогенной структуры на сопротивление контактному выкрашиванию / А.В. Киричек, С.В. Баринов // Вестник Брянского государственного технического университета. - 2015. - № 4 (48). - С. 54-58.
4. Киричек, А.В. Измерительный комплекс для исследования закономерностей распределения энергии ударных импульсов при многоинденторных схемах нагружения / А.В. Киричек, С.В. Баринов, С.А. Силантьев, А.В. Яшин, А.А. Зайцев // Перспективные направления развития финишных методов обработки деталей; виброволновые технологии: сб. тр. по материалам междунар. науч. симп. технологов-машиностроителей. - Ростов н/Д: ДГТУ, 2016 - 284 с.
5. Соловьев, Д.Л. Выбор устройства для упрочнения поверхностным пластическим деформированием динамическими нагрузками / Д.Л. Соловьев, С.А. Силантьев // XXVII Гагаринские чтения: тез. докл. молодеж. науч. конф. - М.: МГАТУ, 2001. - № 4 (2). - С. 168-169.
6. Бабичев, А.П. Исследование технологических схем многопозиционной виброударной упрочняющей обработки лонжерона лопасти рулевого винта вертолета / А.П. Бабичев, Н.С. Коваль // Вестник Рыбинской государственной авиационной технологической академии им. П.А. Соловьева. - 2011. - № 3. - С. 46-49.
7. Бабичев, А.П. Экспериментальные исследования изменения состояния материала при различных схемах виброволнового нагружения / А.П. Бабичев, П.Д. Мотренко, Д.Д. Бирюков // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. - 2016. - № 8-2. - С. 269-277.

8. Бабичев, А.П. Конструктивные особенности и технологическое назначение многоконтактных виброволновых инструментов / А.П. Бабичев, И.А. Бабичев, Л.О. Лисицкий // Перспективные направления развития финишных методов обработки деталей; виброволновые технологии: сб. тр. по материалам междунар. науч. симп. технологов-машиностроителей. - Ростов н/Д: ДГТУ, 2016. - 284 с.
9. Тамаркин, М.А. Исследование параметров качества поверхностного слоя при обработке деталей шарико-стержневым упрочнителем /

М.А. Тамаркин, Э.Э. Тищенко, С.А. Раздорский, А.Г. Исаев // Теплофизические и технологические аспекты повышения эффективности машиностроительного производства: тр. IV междунар. науч.-техн. конф. - 2015. - С. 35-40.

10. Шевцов, С.Н. Методика расчета конструктивных элементов многоконтактного виброударного инструмента ШСУ / С.Н. Шевцов, В.Н. Аксенов, Н.Г. Холоденко // Вопросы вибрационной технологии. - ДГТУ, 2000. - С. 39-46.

1. Kirichek, A.V. *Techniques and Equipment for Static-Pulse Processing with Surface Plastic Deformation* / A.V. Kirichek, D.L. Soloviyov, A.G. Lazutkin. - M.: Mechanical Engineering-1, 2005. - pp. 149. (Technologist's Library).
2. *Loading Mechanic of Wave Deformation Surface* / A.G. Lazutkin, A.V. Kirichek, Yu.S. Stepanov, D.L. Soloviyov. - M.: Mechanical Engineering-1, 2005. - pp. 149.
3. Kirichek, A.V. Impact of heterogeneous structure parameters upon resistance to contact spalling / A.V. Kirichek, S.V. Barinov // *Bulletin of Bryansk State Technical University*. - 2015. - No.4. (48). - pp. 54-58.
4. Kirichek, A.V. Measuring complex for investigation of regularities in distribution of blow pulses at multi-indenter circuits of loading / A.V. Kirichek, S.V. Barinov, S.A. Silantiev, A.V. Yashin, A.AQ. Zaitsev // *Promising Directions in Development of Finishing Methods of Parts Processing; Vibration Wave Techniques: Proceedings of Inter. Scientific Symposiums of Technologist-Mechanics*. Rostov-upon-Don: DSTU, 2016 - pp. 284.
5. Soloviyov, D.L. Device choice for strengthening with surface plastic deformation by dynamic loadings / D.L. Soloviyov, S.A. Solantiev // *The XXVII-th Gagarin's Readings: Report Abstracts of Youth Scientific Conf.* - M.: MSATU, 2001. - No.4 (2). - pp. 168-169.
6. Babichev, A.P. Investigation of technological systems of multi-position vibro-impulsive streng-

thening of antitorque propeller vane spar / A.P. Babichev, N.S. Koval // *Bulletin of Soloviyov Aircraft Technological Academy of Rybinsk*. - 2011. - No.3. - pp. 46-49.

7. Babichev, A.P. Experimental investigations of material state changes at different procedures of vibro-wave loading / A.P. Babichev, P.D. Motrenko, D.D. Biryukov // *Proceedings of Tula State University. Engineering Science*. - 2016. - No.8-2. - pp. 269-277.
8. Babichev, A.P. Design peculiarities and technological purpose of multi-contact vibro-wave tools / A.P. Babichev, I.A. Babichev, L.O. Lisitsky // *Promising Directions of Parts Finishing Methods Development; Vibro-Wave Techniques: Proceedings of the Inter. Scientif. Symposia of Technologist-Engineering Workers*. - Rostov-upon-Don: DSTU, 2016. - pp. 284.
9. Tamarkin, M.A. Parameter investigation of surface layer quality at parts processing with ball-rod hardener / M.A. Tamarkin, E.E. Tishchenko, S.A. Razdorky, A.G. Isaev // *Thermo-physical and Technological Aspects of Engineering Industry Efficiency Increase: Proceedings of the IV-th Inter. Scientif.-Tech. Conf.* - 2015. - pp. 35-40.
10. Shevtsov, S.N. Computation procedure of design elements of multi-contact vibro-impact tool of ShSU / S.N. Shevtsov, V.N. Aksyonov, N.G. Kholodenko // *Problems of Vibration Techniques*. - DSTU, 2000. - pp. 39-46.

Статья поступила в редколлегию 28.11.17.

Рецензент: д.т.н., профессор МИ ВлГУ  
Шнаков П.С.

#### Сведения об авторах:

**Киричек Андрей Викторович**, д.т.н., профессор, проректор по перспективному развитию Брянского государственного технического университета, e-mail: [avk.57@yandex.ru](mailto:avk.57@yandex.ru).

**Баринов Сергей Владимирович**, к.т.н., доцент, зав. кафедрой автоматизированного проектирования машин Муромского института (филиала) Владимирского государственного университета им. А.Г. и Н.Г. Столетовых, e-mail: [box64@rambler.ru](mailto:box64@rambler.ru).

**Яшин Александр Васильевич**, зав. лабораториями кафедры ТМС

Муромского института (филиала) Владимирского государственного университета им. А.Г. и Н.Г. Столетовых, e-mail: [yashin2102@yandex.ru](mailto:yashin2102@yandex.ru).

**Зайцев Алексей Андреевич**, студент кафедры ТМС Муромского института (филиала) Владимирского государственного университета им. А.Г. и Н.Г. Столетовых, e-mail: [apmitp@yandex.ru](mailto:apmitp@yandex.ru).

**Константинов Александр Михайлович**, студент кафедры ТМС Муромского института (филиала)

**Kirichek Andrey Victorovich**, D. Eng., Prof., Pro-Rector for Promising Development of Bryansk State Technical University, e-mail: [avk.57@yandex.ru](mailto:avk.57@yandex.ru).

**Barinov Sergey Vladimirovich**, Can. Eng., Assistant Prof., Head of the Dep. of Automated Machine Designing, Murom Branch of Stoletovs State University of Vladimir, e-mail: [box64@rambler.ru](mailto:box64@rambler.ru).

**Yashin Alexander Vasilievich**, Head of Laboratories of the Dep. "Engineering Techniques", Murom Branch

Владимирского государственного университета им. А.Г. и Н.Г. Столетовых, e-mail: [apmitp@yandex.ru](mailto:apmitp@yandex.ru).

of Stoletovs State University of Vladimir, e-mail: [yashin2102@yandex.ru](mailto:yashin2102@yandex.ru).

**Zaitsev Alexey Andreevich**, Student of the Dep. "Engineering Techniques", Murom Branch of Stoletovs State University of Vladimir, e-mail: [apmitp@yandex.ru](mailto:apmitp@yandex.ru).

**Konstantinov Alexander Mikhailovich**, Student of the Dep. "Engineering Techniques", Murom Branch of Stoletovs State University of Vladimir, e-mail: [apmitp@yandex.ru](mailto:apmitp@yandex.ru).