

УДК 621.787.6.004

DOI: 10.30987/1999-8775-2021-2-21-27

А.В. Киричек, С.В. Баринов, А.В. Яшин,
Л.Г. Никитина, А.М. Константинов

ВЛИЯНИЕ МАТЕРИАЛА И РАЗМЕРОВ ИЗДЕЛИЯ НА ПАРАМЕТРЫ УПРОЧНЕНИЯ ВОЛНОЙ ДЕФОРМАЦИИ

Исследованы влияния на параметры упрочнения волной деформации габаритных размеров образцов из материалов разных марок. Данные исследования проводились на специально разработанном стенде. Эффективность упрочнения оценивалась по карте микротвердости поверхностного слоя. Полученные результаты дают представления о влиянии рассматриваемых марок материалов

(сталь 45, титан ВТ 1-0, бронза БРАЗ 9-4, алюминий Б-95) на глубину и степень упрочнения образцов различных габаритных размеров, при их упрочнении волной деформации.

Ключевые слова: ударный импульс, материал, волновое деформационное упрочнение, боек, волновод, микротвердость, глубина упрочнения.

A.V. Kirichek, S.V. Barinov, A.V. Yashin, L.G. Nikitina, A.M. Konstantinov

IMPACT OF MATERIAL AND DIMENSIONS OF PRODUCT UPON PARAMETERS OF WAVE DEFORMATION STRENGTHENING

Previously it was defined that geometrical dimensions of material worked have a significant impact upon the process of wave deformation strengthening, as at equal volumes of strengthened samples and processing modes there are observed different cards of micro-hardness in surface layers.

In the paper there are shown investigations of the impact of dimensions of samples made of different material kinds (steel 45, titanium VT 1-0, bronze BRAZh 9-4, aluminum alloy B-95) upon wave deformation strengthening parameters). The investigations mentioned were carried out for the first time on a test desk specially developed. Strengthening effectiveness was estimated according to micro-hardness distribution in a surface layer. The analysis of the results obtained allowed defining that in chosen modes of WDS takes place strengthening not only a face surface but a back

one of the sample at that in the core of the sample an initial hardness of material is kept. The investigations carried out allowed defining the fact that at the increase of material thickness from 10 to 20 mm resulted in the growth of degree (ΔH_{μ}) and depth (h_{μ}) of strengthening at WDS of samples of steel 45 - by 24 and 32%, samples of bronze BRAZh 9-4 - by 22 and 21%, samples of titanium VT 1-0 - by 24 and 32%, samples of aluminum alloy B-95 - by 40 and 62%. The samples length increase from 50 to 100 mm is accompanied by the decrease of ΔH_{μ} and h_{μ} at strengthening: steel 45 - by 36 and 70%, bronze BRAZh 9-4 - by 27 and 43%, titanium VT 1-0 - by 24 and 32%, aluminum alloy B-95 - by 40 and 62%.

Key words: shock pulse, material, wave deformation strengthening, head, waveguide, microhardness, strengthening depth.

Введение

Методы поверхностного пластического деформирования подразделяются на статические и ударные. Ударные методы энергетически более выгодны, так как они обеспечивают прерывистое воздействие на упрочняемую поверхность ударными импульсами [1].

Эффективность ударного воздействия (упрочнения) характеризуется долей передаваемой энергии ударного импульса в очаг деформации, которая зависит не только от соотношения длин и площадей

контактных сечений волновода и бойка, физико-механических свойств среды нагружения, но и от геометрических размеров обрабатываемого изделия [2-4]. Это связано с тем, что энергия ударного импульса преобразуется на всех границах с изменяемой акустической жесткостью, которые, в том числе, являются конечными размерами упрочняемого изделия.

Впервые факт влияния размеров обрабатываемого изделия на параметры упрочнения установлен при обработке

призматических образцов волновым деформационным упрочнением (ВДУ) [5-6]. Суть способа заключается в сочетании статических и ударных воздействий на обрабатываемый материал ударными импульсами пролонгированного действия, которые генерируются ударной системой (бойк – волновод) [1]. Ранее выполненными исследованиями процесса ВДУ установлено, что при одинаковых объемах упрочняемых образцов и режимах обработки могут быть получены разные эпюры распределения

Материалы, методы и результаты

Для проведения исследований влияния материалов и размеров изделий на параметры упрочнения волной деформации использовались образцы длиной 50 и 100 мм, толщиной 10 и 20 мм и шириной 20 мм. В качестве материалов образцов использовались: сталь 45, титан ВТ 1-0, бронза БРАЖ 9-4, сплав алюминия Б-95.

микротвердости в поверхностном слое. Установлено, что различия в упрочнении объясняются разными геометрическими размерами образцов [5–6]. Однако данные исследования проводились только на стали 45.

Целью работы является проведение исследований влияния на параметры упрочнения волной деформации габаритных размеров образцов, изготовленных из материалов разных марок.

Выбор материалов обоснован широтой их применения при изготовлении изделий в машиностроении.

Упрочнение образцов проводилось на специально разработанном стенде для исследования процессов волнового деформационного упрочнения (рис. 1) [7].

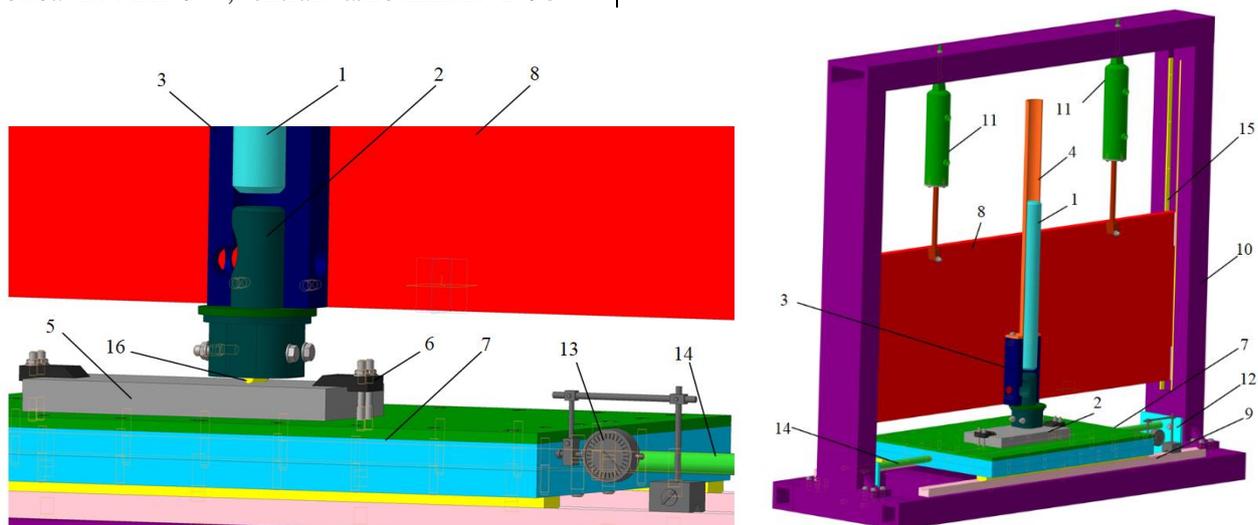


Рис. 1. Схема экспериментального стенда, где: 1 – бойк, 2 – волновод, 3 – корпус, 4 – трубчатые направляющие, 5 – обрабатываемая поверхность, 6 – прихваты, 7 – стол, 8 – плита, 9 – поперечная направляющая, 10 – порталная рама, 11 – гидроцилиндры, 12 – упор, 13 – индикатор, 14 – ходовой винт, 15 – направляющие, 16 – инструмент [7]

Упрочнение проводилось при энергии удара 70 Дж, с коэффициентом, обеспечивающим равномерность перекрытия отпечатков ударов инструмента равным 0,4. В качестве инструмента для ВДУ применялся стержневой ролик диаметром 25 мм и шириной 30 мм [8]. В ударной системе использовался боек длиной 450 мм и

диаметром 45 мм, обеспечивающим соотношение длин бойка и волновода 3:1. Эффективность упрочнения оценивалась по карте микротвердости поверхностного слоя. Для её построения образец разрезался поперек упрочненной области, затем в сечении измерялась микротвердость на автоматическом твердомере KB 30S.

Материалы, методы и результаты

Ранее установлено, что при ВДУ упрочняется не только контактная (лицевая) сторона обрабатываемого образца, но и на его противоположная тыльная часть, при этом сердцевина образца остается неупрочненной. Вследствие этого, карта

микротвердости строилась для всего сечения упрочненного образца.

Результаты исследований влияния материала и размеров изделий на параметры упрочнения (степень ΔH_{μ} и глубину h_{μ} упрочнения) волной деформации представлены на рисунках 2–5.

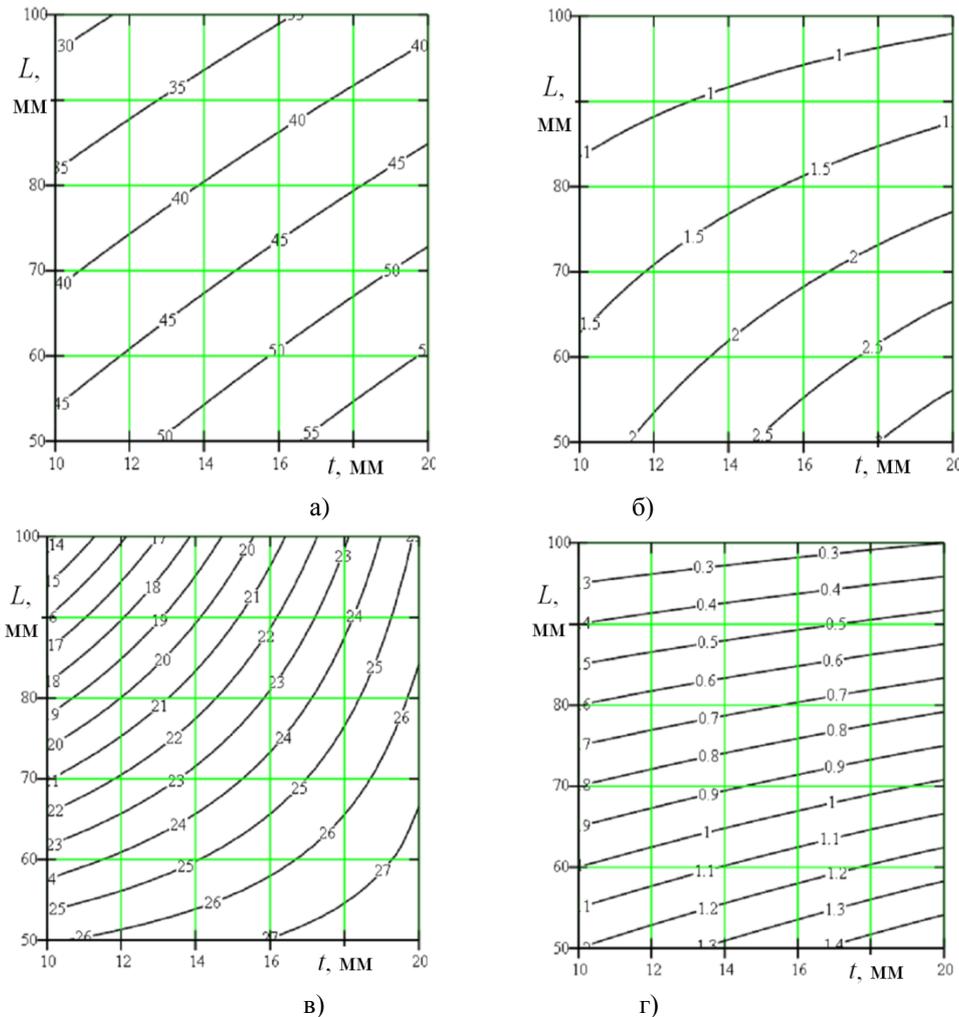


Рис. 2. Зависимость степени (%) – (а, в) и глубины (мм) – (б, г) упрочнения от длины (L) и толщины образца (t) из стали 45 при ВДУ, где: а), б) – лицевая; в), г) – тыльная стороны образца

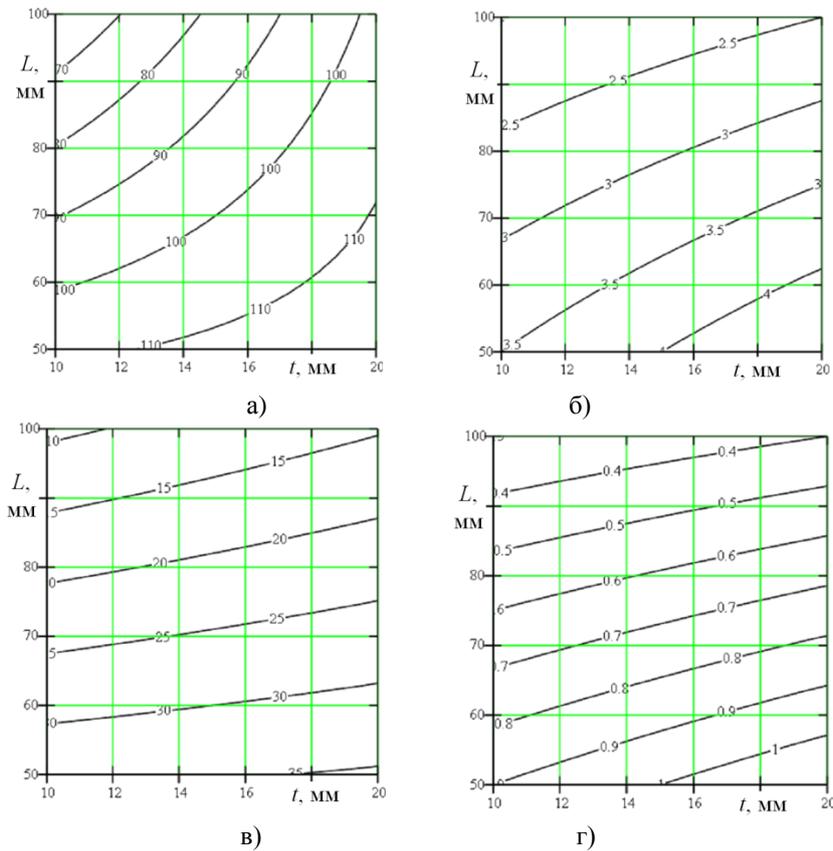


Рис. 3. Зависимость степени (%) – (а, в) и глубины (мм) – (б, г) упрочнения от длины (L) и толщины образца (t) из бронзы БЖ 9-4 при ВДУ, где: а), б) – лицевая; в), г) – тыльная стороны образца

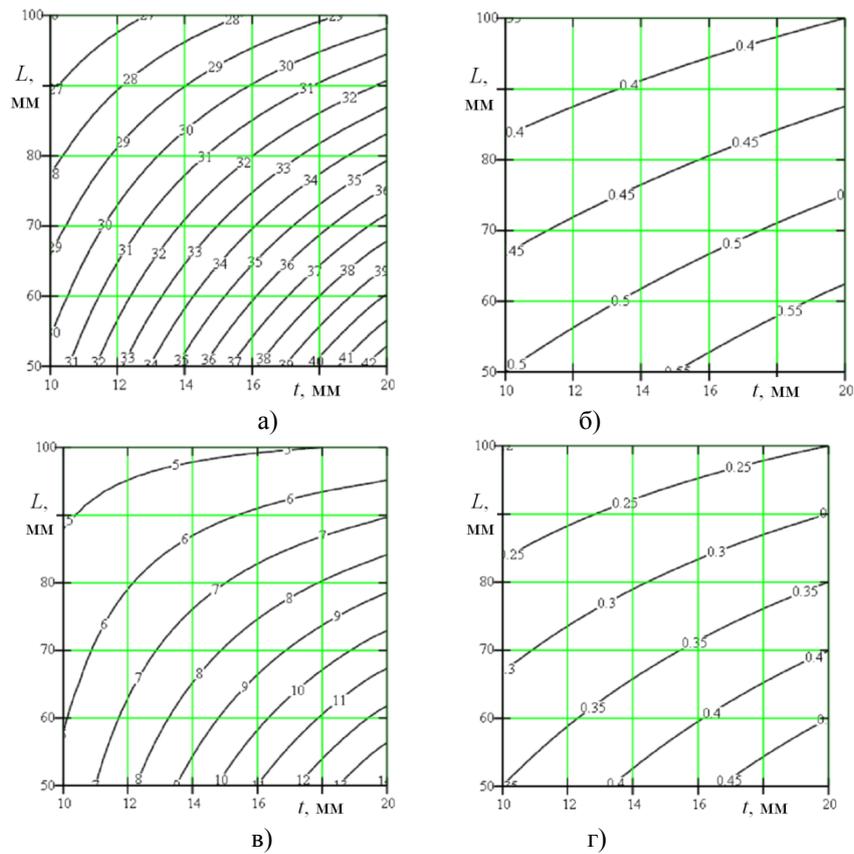


Рис.4 Зависимость степени (%) – (а, в) и глубины (мм) – (б, г) упрочнения от длины (L) и толщины образца (t) из титана ВТ-1-0 при ВДУ, где: а), б) – лицевая; в), г) – тыльная стороны образца

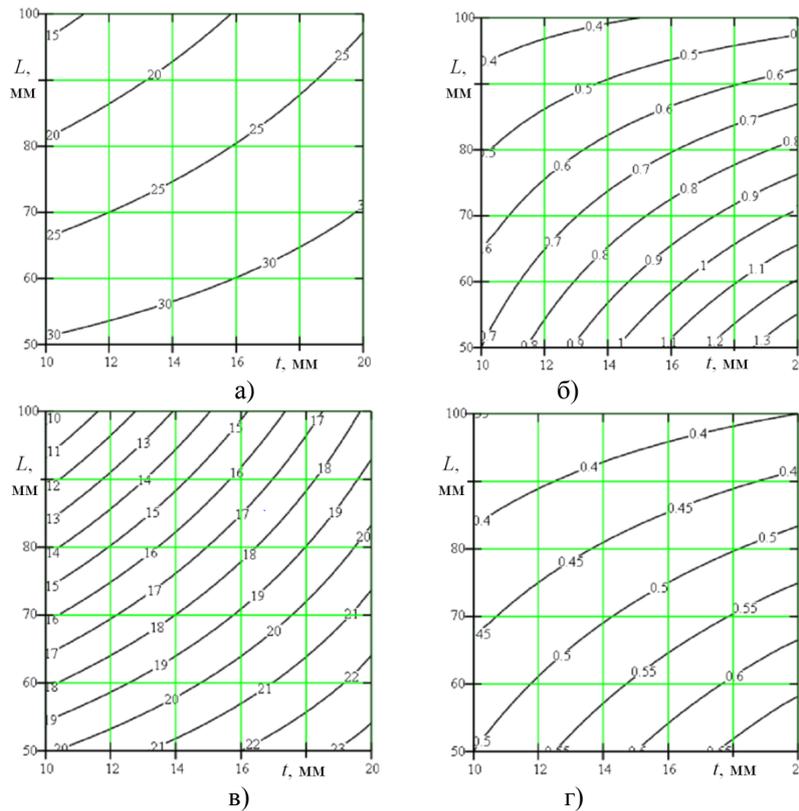


Рис. 5. Зависимость степени (%) – (а, в) и глубины (мм) – (б, г) упрочнения от длины (L) и толщины образца (t) из сплава алюминия Б-95 при ВДУ, где: а), б) – лицевая; в), г) – тыльная стороны образца

Из рисунков видно, что результаты ВДУ зависят от размеров обрабатываемых образцов. Увеличение длины образцов с 50 до 100 мм сопровождается снижением степени (ΔH_{μ}) и глубины (h_{μ}) упрочнения:

– для образцов из стали 45 толщиной (t) 10 мм (рис. 2) степень упрочнения поверхностного слоя лицевой стороны снижается на 38 %, а глубина упрочнения - на 66 %, при $t = 20$ мм на 35 и 73 %, соответственно. Степень упрочнения тыльной стороны образца также снизилась для $t=10$ мм на 47 %, а глубина упрочненного слоя - на 87 %, для $t = 20$ мм соответственно ΔH_{μ} на 10 %, h_{μ} на 80 %.

– для образцов из бронзы БРАЖ 9-4 толщиной (t) 10 мм (рис. 3) степень упрочнения поверхностного слоя лицевой стороны снижается на 47 %, а глубина упрочненного слоя – на 87 %, для $t = 20$ мм на 10 и 80%, соответственно. Степень упрочнения тыльной стороны образца также снизилась для $t = 10$ мм на 73 %, а глубина

упрочненного слоя – на 70 %, для $t = 20$ мм соответственно ΔH_{μ} на 59 %, h_{μ} на 68 %.

– для образцов из титана ВТ 1-0 толщиной (t) 10 мм (рис. 4) степень упрочнения поверхностного слоя лицевой стороны снижается на 14%, а глубина упрочнения - на 30%, при $t=20$ мм на 31 и 33%, соответственно. Степень упрочнения тыльной стороны образца также снизилась для $t=10$ мм на 25%, а глубина упрочненного слоя - 43на %, для $t=20$ мм соответственно ΔH_{μ} на 64%, h_{μ} на 50%.

– для образцов из сплава алюминия Б-95 толщиной (t) 10 мм (рис. 5) степень упрочнения поверхностного слоя лицевой стороны снижается на 55 %, а глубина упрочнения – на 50 %, при $t = 20$ мм на 28 и 68 %, соответственно. Степень упрочнения тыльной стороны образца также снизилась для $t = 10$ мм на 52 %, а глубина упрочненного слоя – на 30 %, для $t = 20$ мм соответственно ΔH_{μ} на 22 %, h_{μ} на 43 %.

Выводы

1. Подтвержден факт упрочнения при ВДУ не только с лицевой, но и с тыльной стороны образца, при этом сердцевина образца сохраняет исходную твердость материала.

2. Установлено, что увеличение длины обрабатываемого ВДУ образца сопровождается снижением степени и глубины упрочнения как лицевой, так тыльной стороны, причем степень снижения этих показателей зависит от марки обрабатываемого материала.

3. Установлено, что увеличение толщины обрабатываемого ВДУ образца сопровождается ростом степени и глубины упрочнения как лицевой, так тыльной стороны, причем степень возрастания этих показателей зависит от марки обрабатываемого материала.

4. Наибольшая чувствительность параметров упрочнения поверхностного слоя характерна для образцов из стали 45 и сплава алюминия Б-95, наименьшая – для бронзы БРАЖ 9-4 и титанового сплава ВТ 1-0.

Исследования выполнены при поддержке гранта РФФИ № 19-08-00676

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.
2. **Eremyants, V. E.** About selection of parameters of hydraulic vibro-impact machines for surface cleaning / V.E. Eremyants, V.V. Nju // Journal of Advanced Research in Technical Science. – 2016. – P. 20–24.
3. **Александров, Е. В.** Прикладная теория и расчеты ударных систем / Е.В. Александров, В.Б. Соколинский. - М.: Наука, 1969. – 201 с.
4. **Расчет ударных систем с неторцевым соударением элементов** / О.Д. Алимов, В.К. Манжосов, В.Э. Еремьянц, Л.М. Мартыненко. – Фрунзе : Илим, 1979. – 109 с.
5. **The investigation of the deformation wave hardening effect on the strength of the medium and low alloy steels** / A.V. Kirichek, S.V. Barinov, A.V. Yashin, S.E. Kolontsov // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. – 2017. – № 177. – 012121. DOI: 10.1088/1757-899X/177/1/012121.
6. **Kirichek, A. V.** The peculiarities of the influence of the finite sizes of a detail on the distribution of the surface layer micro-hardness in case it is hardened by a deformation wave / A.V. Kirichek, S.V. Barinov, A.V. Yashin // Journal of Nano and Electronic Physics.-2015-№4(7).-04019. DOI 2077-6772/2015/7(4)04019(4).
7. **Экспериментальный стенд для исследования процессов волнового деформационного упрочнения** / А.В. Киричек, С.В. Баринов, С.А. Силантьев [и др.] // Вестник Брянского государственного технического университета. – 2019. – № 12. – С. 50–57. DOI: 10.30987/1999-8775-2019-2019-12-50-57.
8. **Баринов, С. В.** Повышение долговечности деталей машин созданием гетерогенной структуры деформационным упрочнением : [материалы Всероссийской межвузовской научной конференции «VI Всероссийские научные Зворыкинские чтения», Муром, 14 февраля 2014 г.] / С.В. Баринов. - Текст : электронный - URL: http://www.mivlgu.ru/conf/zvorykin2014/pdf/Section_13.pdf. – Дата публикации: 21 апреля 2014.
1. **Kirichek, A.V.** *Technology and Equipment of Static-Pulse Processing with Surface Plastic Deformation* / A.V. Kirichek, D.L. Soloviyov, A.G. Lazutkin. – М.: Mechanical Engineering, 2004. – pp. 288.
2. **Eremyants, V. E.** About selection of parameters of hydraulic vibro-impact machines for surface cleaning / V.E. Eremyants, V.V. Nju // Journal of Advanced Research in Technical Science. – 2016. – P. 20–24.
3. **Alexandrov, E.V.** *Applied Theory and Calculations of Shock Systems* / E.V. Alexandrov, V.B. Sokolinsky. – М.: Science, 1969. – pp. 201.
4. **Computations of Shock Systems with Non-End Impact of Elements** / O.D. Alimov, V.K. Manzhosov, V.E. Yermiyants, L.M. Martynenko. – Frunze: Ilim, 1979. – pp. 109.
5. **The investigation of the deformation wave hardening effect on the strength of the medium and low alloy steels** / A.V. Kirichek, S.V. Barinov, A.V. Yashin, S.E. Kolontsov // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. – 2017. – № 177. – 012121. DOI: 10.1088/1757-899X/177/1/012121.
6. **Kirichek, A. V.** The peculiarities of the influence of the finite sizes of a detail on the distribution of the surface layer micro-hardness in case it is hardened by a deformation wave / A.V. Kirichek, S.V. Barinov, A.V. Yashin // Journal of Nano and Electronic Physics.-2015-№4(7).-04019. DOI 2077-6772/2015/7(4)04019(4).

7. **Experimental test bed for wave deformation strengthening investigation** / A.V. Kirichek, S.V. Barinov, S.A. Silantiev [et al.] // *Bulletin of Bryansk State technical University*. – 2019. – No.12. – pp. 50-57. DOI: 10.30987/1999-8775-2019-2019-12-50-57.
8. **Barinov, S.V.** Machinery life increase by creation of heterogeneous structure with deformation

strengthening: Proceedings of All-Russian Inter-College Scientific Conf. “VI-th All-Russian Zvorykin’s Scientific Readings”, Murom, February 14, 2014] / S.V. Barinov. – Text: electronic - URL: http://www.mivlgu.ru/conf/zvorykin2014/pdf/Section_13.pdf. – Publication date: April 21, 2014.

Ссылка цитирования:

Киричек, А.В. Влияние материала и размеров изделия на параметры упрочнения волной деформации / А.В. Киричек, С.В. Баринов, А.В. Яшин, Л.Г. Никитина, А.М. Константинов // Вестник Брянского государственного технического университета. – 2021. - № 2. – С. 21-27. DOI: 10.30987/1999-8775-2021-2-21-27.

Статья поступила в редакцию 11.12.20.

Рецензент: д.т.н., профессор, заслуженный деятель науки РФ, лауреат премий Президента и Правительства РФ

Степанов Ю.С.,

член редсовета журнала «Вестник БГТУ».

Статья принята к публикации 22.01.21.

Сведения об авторах:

Киричек Андрей Викторович, д.т.н., профессор, проректор по перспективному развитию Брянского государственного технического университета, тел.: 8 (4832) 51-51-38; e-mail: avk.57@yandex.ru,

Баринов Сергей Владимирович, к.т.н., доцент кафедры «Технология машиностроения» Муромского института (филиала) Владимирского государственного университета имени А. Г. и Н. Г. Столетовых, тел.: (49234) 7-71-41, e-mail: box64@rambler.ru.

Яшин Александр Васильевич, ст. преподаватель кафедры «Технология машиностроения» Муромского института (филиала) Владимирского государственного университета имени А. Г. и Н. Г.

Kirichek Andrey Victorovich, Dr. Sc. Tech., Prof., Pro-rector for Promising Development of Bryansk State Technical University, phone: 8 (4832) 51-51-38, e-mail: avk.57@yandex.ru,

Barinov Sergey Vladimirovich, Can. Sc. Tech., Assistant Prof. of the Dep. “Mechanical Engineering”, Murom Institute (Branch) of Stoletovs State University of Vladimir, phone: (49234) 7-71-41, e-mail: box64@rambler.ru.

Yashin Alexander Vasilievich, Senior lecturer of the Dep. “Mechanical Engineering”, Murom Institute (Branch) of Stoletovs State University of Vladimir, phone: (49234) 7-71-41,

Столетовых», тел.: (49234) 7-71-41, e-mail: yashin2102@yandex.ru,

Никитина Любовь Геннадиевна, к.т.н., доцент кафедры «Технология машиностроения» Муромского института (филиала) Владимирского государственного университета имени А. Г. и Н. Г. Столетовых», тел.: (49234) 7-71-41, e-mail: nikitina-nlg@yandex.ru.

Константинов Александр Михайлович, магистрант кафедры «Технология машиностроения» Муромского института (филиала) Владимирского государственного университета имени А. Г. и Н. Г. Столетовых», тел.: (49234) 7-71-41, e-mail: apmitp@yandex.ru.

e-mail: yashin2102@yandex.ru,

Nikitina Lyubov Gennadievna, Can. Sc. Tech., Assistant Prof. of the Dep. “Mechanical Engineering”, Murom Institute (Branch) of Stoletovs State University of Vladimir, phone: (49234) 7-71-41, e-mail: nikitina-nlg@yandex.ru.

Konstantinov Alexander Mikhailovich, Master student of the Dep. “Mechanical Engineering”, Murom Institute (Branch) of Stoletovs State University of Vladimir, phone: (49234) 7-71-41, e-mail: apmitp@yandex.ru.