

Машиностроение и машиноведение

УДК 621.787.6.004

DOI: 10.30987/1999-8775-2020-2020-1-4-10

А.В. Киричек, С.В. Баринов, А.В. Яшин,
А.А. Зайцев, А.М. Константинов**ПРОБЛЕМА УЧЕТА РЕАЛЬНЫХ РАЗМЕРОВ ИЗДЕЛИЙ
ПРИ ВОЛНОВОМ ДЕФОРМАЦИОННОМ УПРОЧНЕНИИ**

Рассмотрена проблема необходимости учета реальных размеров изделий при их упрочнении волной деформации. Предварительными исследованиями установлено значимое влияние на процесс упрочнения волной деформации геометрических размеров упрочняемых образцов, так как при одинаковых объемах обрабатываемого материала и режимах обработки наблюдаются разные эпюры распределения микротвердости в поверхностном слое. Впервые установлена перспективность исследования закономерностей сквозного упрочнения

образцов разных форм и размеров и возможности бесконтактного деформационного упрочнения противоположных воздействию волн деформации сторон образца, имеющих в том числе и сложнопрофильную форму, а также возможности бесконтактного деформационного упрочнения внутренних труднодоступных поверхностей.

Ключевые слова: волновое деформационное упрочнение, ВДУ, импульс, ударная система, волновод, боек, размеры изделия.

A.V. Kirichek, S.V. Barinov, A.V. Yashin,
A.A. Zaytsev, A.M. Konstantinov**REAL PRODUCT SIZE ACCOUNTING PROBLEM
AT WAVE DEFORMATION HARDENING**

The article raises the problem of the need to take into account real dimensions when they are strengthened by wave deformation. The fact is that in carrying out initial calculations the overall dimensions of the models under study are quite often neglected. On the one hand, this makes it possible to significantly simplify the calculation of the flat model, and on the other - to exclude consideration of the influence of geometric dimensions of the sample on the process to be followed. This is especially relevant in the study of shock systems in which wave processes lie. The effect of the final samples on the hardening process should not be excluded. This is because the elastic-stic deformation pattern has its own features. Hardening is carried out due to transmission of energy in the form of deformation wave, which is transformed on all gras with variable acoustic rigidity, including on boundaries, which are final dimensions of the analysed sample. Preliminary studies have developed a significant

effect on the process of wave deformation hardening of geometrical dimensions of the material to be treated, since at equal volumes of strengthened materials and processing modes different distribution of microassay in the surface layer is observed. The established algorithm of further research of the given direction will allow not only to reveal the regularities of through strengthening of samples of different shapes and sizes, but also to establish the possibility of contactless deformation strengthening of the sides of the sample opposite to the impact of the HRD, which have a complex profile shape, as well as the possibility of contactless deformation strengthening of internal hard-to-reach surfaces.

Key words: wave deformation hardening, VDU, impulse, shock system, waveguide, striker, dimensions of the article.

Введение

Использование энергии волновых процессов лежит в основе разных способов ударного нагружения. Термин «волна деформации», как правило, ассоциируется с упрочнением взрывом. Первые попытки использования энергии взрыва для обра-

ботки металлов были сделаны еще в конце 19 века. Более планомерные исследования упрочнения взрывом начались с 50-х годов 20 века и связаны с именами выдающихся ученых, среди которых можно назвать Л. Эйлера, Х. Гюгонио, Д. Чепмена, Э. Жуге,

Дж. Тэйлора, В.А. Михельсона, Я.Б. Зельдовича, Ю.Б. Харитона, М.А. Лаврентьева, Л.Д. Ландау, К.П. Станюковича, Л.И. Седова, А.Ф. Беляева, М.А. Садовского, А.С. Компанейца, Ю.А. Кована, А.А. Дерibasа, В.И. Зельдовича, И.Ф. Кобылкина, М.И. Алымова, И.В. Хомскую и других [1]. Так, применение в работах проф. Хомской И.В. нового метода ППД - динамического канально-углового прессования, основанного на комбинированном воздействии высокоскоростной деформации сдвига, ударно-волнового сжатия и температуры, позволило установить детальную картину изменения фазовых и структурных состояний в сплавах на основе железа и меди при экстремальных ударно-волновых и деформационных воздействиях [2].

Использование энергии волновых процессов также легло в основу нового метода виброударной обработки - шарикостержневого упрочнения (ШСУ). При ШСУ передача ударного импульса в очаг деформации происходит от пневмоустройства через замкнутый объем стальных закаленных шаров к упаковке стержней. Данный способ сочетает в себе достоинства виброударной обработки (гибкость обрабатываемой среды) и чеканки (высокое импульсное воздействие) и позволяет обрабатывать как локальные области, так и длинномерные, крупногабаритные детали. Например, ШСУ алюминиевых сплавов позволяет повысить их предел выносливости до 28 % и обеспечить упрочнение на глубине до 1 мм [3; 4].

При реализации как приведенных современных, так и хорошо известных методов ППД, в основе которых лежит использование энергии волновых процессов, не учитывается влияние конечных размеров и форм образцов на результаты упрочнения. Однако последние исследования в этой области установили значимое влияние на процесс упрочнения волной деформации геометрических размеров упрочняемых образцов, так как при одинаковых объемах обрабатываемого материала и режимах обработки наблюдаются разные карты распределения микротвердости в поверхностном слое [5]. Сложность учета влияния конечных размеров и форм образцов на ре-

зультаты упрочнения рассмотренными современными способами ППД связана со спецификой их процессов. Так, при шарикостержневом упрочнении исследование влияния конечных размеров и форм образцов на результаты обработки затруднено тем, что, во-первых, ограничены возможности способа по управлению параметрами ударного импульса, во-вторых, при использовании небольших энергий ударных импульсов, которые достаточно быстро затухают в поверхностном слое, рекуперация энергии импульсов отсутствует. Применение динамического канально-углового прессования также не позволит в полном объеме провести исследование влияния конечных размеров и форм образцов на результаты обработки. Это связано с использованием для реализации способа высокоскоростных деформаций сдвига и ударно-волнового сжатия (вызванного взрывом), которые в силу быстротечности процесса ещё и формируют ударные импульсы высоких энергий. К тому же применение данного способа для локального упрочнения экономически и энергетически невыгодно.

Развитие способа волнового деформационного упрочнения (ВДУ) началось в 90-х годах прошлого века, в 1997 году получен первый патент [6]. В основе ВДУ, как и в двух предыдущих способах ППД, лежит использование энергии волновых процессов. Генерирование ударных импульсов происходит в ударной системе с промежуточным звеном. Она позволяет формировать ударные импульсы, состоящие из головной и хвостовой частей. Хвостовая часть импульса формируется за счет рекуперации энергии волн деформации и зависит от свойств нагружаемой среды. Использование хвостовой части позволяет пролонгировать воздействие ударного импульса на нагружаемую среду, интенсифицировать упругопластическую деформацию и увеличить коэффициент полезного действия процесса. Процесс нагружения материала волной деформации отличается расширенным набором управляющих факторов, что дает широкие возможности управления параметрами импульсов, расширяет возможности дефор-

мационной обработки, позволяет создавать слой с заданной равномерностью упрочнения, глубиной более 6...8 мм. Упрочненный слой формируется в результате многократных импульсных воздействий, очаги которых имеют относительное смещение. Кратность и сила импульсного воздействия, размеры очага деформации, определяемые из решения контактной задачи, закономерность изменения свойств материала по глубине поверхностного слоя в результате однократного импульсного воз-

действия определяют характер эпюры свойств градиентно упрочненного поверхностного слоя [8]. Высокая (акустическая) скорость распространения волны деформации в материале (порядка 5000 м/с), возможность управления интенсивностью и длительностью силового воздействия на фрагменты поверхностного слоя позволяют отнести данный способ обработки к способам интенсивной пластической деформации материала.

Материалы, методы и результаты исследований

Для выявления закономерностей влияния размеров обрабатываемого изделия на распределение микротвердости в поверхностном слое при его упрочнении волной деформации проводился следующий предварительный эксперимент [5]. В качестве среды нагружения использовались прямоугольные образцы из стали 45, отличающиеся друг от друга размерами (диапазон варьирования: длина - 50, 100, 150 мм; ширина - 20, 40 мм; толщина - 10,

20 мм). Данные образцы упрочнялись волной деформации на одном и том же режиме: энергия ударов 35 Дж; частота ударов 23 Гц; коэффициент перекрытия $K = 0,4$; инструмент - стержневой ролик диаметром 10 мм и шириной 7 мм. После упрочнения образцы разрезались в направлении продольной подачи инструмента ВДУ и в полученном сечении измерялась микротвердость (рис. 1).



Рис. 1. Примеры разрезанных образцов после ВДУ

Анализ данных показал, что полученные карты распределения микротвердости образцов имеют разный характер, несмотря на то что они упрочнялись с од-

ним и тем же режимом ВДУ (рис. 2). Также установлено, что у образцов с отличными геометрическими размерами, но одинаковыми объемами (например, объем

образцов 50x40x20 и 100x40x10 мм одинаков и равен 40000 мм³) разные карты распределения микротвердости [5]. Данные факты подтверждают влияние размеров

образцов на распределение микротвердости при ВДУ и поднимают проблему необходимости учета этой особенности в дальнейшем.

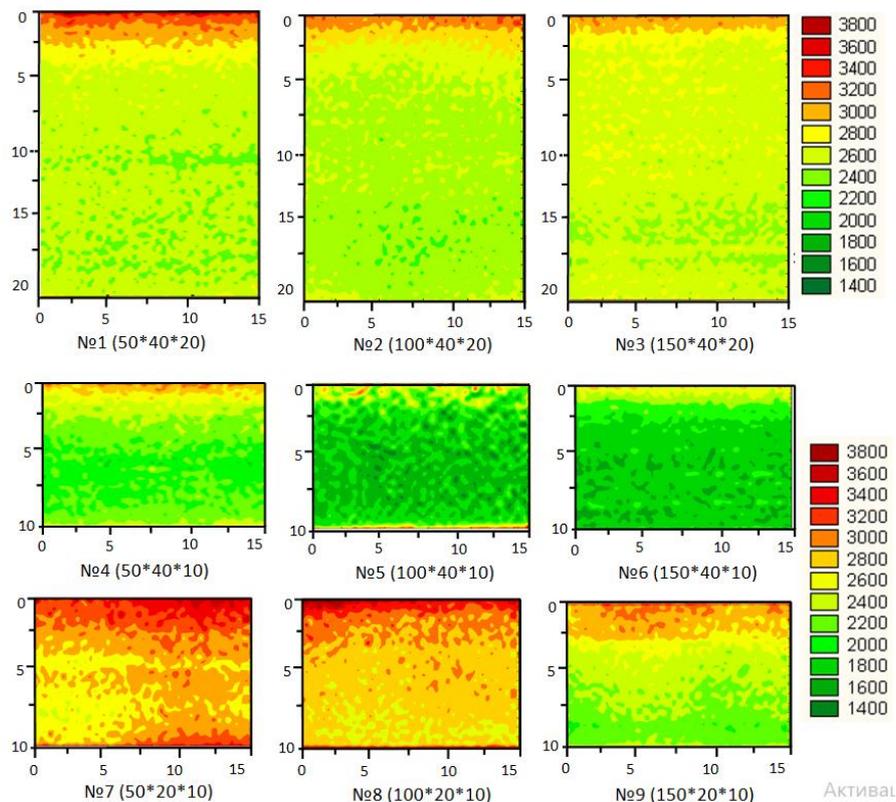


Рис. 2. Карты распределения микротвердости (МПа) [5]

В настоящее время технология волнового деформационного упрочнения достаточно широко применяется для решения задач повышения срока службы изделий в различных отраслях промышленности. Так, упрочнение ВДУ сердечников крестовин стрелочных железнодорожных переводов типа Р65 марки 1/11 позволило повысить их срок службы в 3 раза (рис. 3) [9]. Однако в зависимости от назначения стрелочных переводов (железнодорожные,

метрополитеновские, трамвайные и их модификации) сердечники крестовин имеют большую номенклатуру типоразмеров. Также в отливках сердечников могут образовываться пустоты, поэтому (исходя из размеров изделия, наличия внутренних неоднородностей) при упрочнении их волной деформации могут появиться новые эффекты, что затруднит выбор режимов упрочнения исходя из специфики процесса.

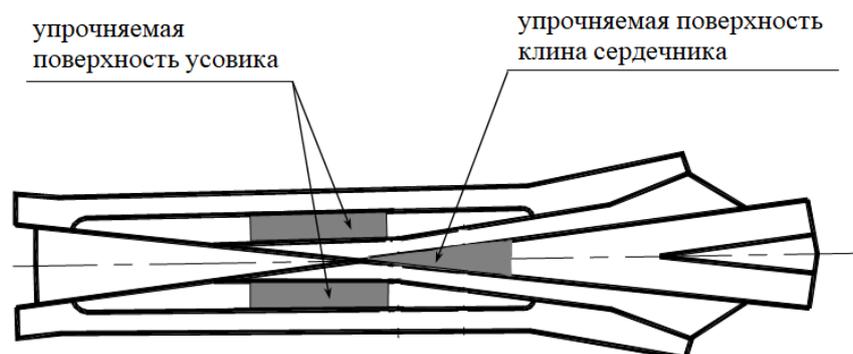


Рис. 3. Схема упрочнения сердечника крестовин стрелочных переводов [9]

Одной из проблемных областей машиностроения является упрочнение наружных и внутренних фасонных поверхностей изделий, которые невозможно подвергнуть термическому или контактному воздействию инструментом или средой. Для решения данной проблемы можно использовать способ ВДУ. Так, при упрочнении волной деформации внутренних поверхностей втулок из стали 45 установлено одновременное повышение степени упрочнения на 80-90 % на глубине 3 мм не только на внутренней, обрабатываемой (деформируемой) поверхности, но и на внешней поверхности, к которой не было приложено внешнее физическое воздействие. При этом между внутренней и внешней упрочненными областями втулки располагалась неупрочненная область с исходной твердостью. В некоторых случаях на внешних поверхностях втулок формировалось большее упрочнение, чем на обработанных ВДУ внутренних поверхностях [10].

Примеров изделий, где возможно применить особенности упрочнения волной деформации, можно приводить достаточно много. Дальнейшее исследование данного направления весьма актуально, в целом оно нуждается в более глубоком изучении.

Для достижения поставленной цели необходимо выявить взаимосвязи между параметрами волны деформации, формой и размерами упрочняемых образцов и кар-

Заключение

В результате предварительных исследований установлено значимое влияние на процесс упрочнения волной деформации геометрических размеров упрочняемых образцов, так как при одинаковых объемах обрабатываемого материала и режимах обработки наблюдаются разные эпюры распределения микротвердости в поверхностном слое. Дальнейшие исследования в данной области позволят не

только выявить закономерности сквозного упрочнения образцов разных форм и размеров, но и установить возможность бесконтактного деформационного упрочнения противоположных воздействию ВДУ сторон образца, имеющих сложную форму, а также возможность бесконтактного деформационного упрочнения внутренних труднодоступных поверхностей.

Более детальный алгоритм решения поставленной проблемы включает в себя следующие задачи:

1. Разработать экспериментальный стенд для нагружения образцов с конечными размерами импульсами с разной длительностью, энергией и скважностью их нанесения.

2. Провести на стенде исследования, позволяющие экспериментально установить взаимосвязи между параметрами волны деформации, формой и размерами упрочняемых образцов и картой микротвердости поверхностного слоя, характеризующей его упрочнение.

3. Разработать конечноэлементную модель материала образцов с учетом полученных экспериментальных данных.

4. Разработать конечноэлементную модель процесса волнового деформационного упрочнения, позволяющую проводить исследования взаимосвязей между параметрами волны деформации, формой и размерами упрочняемых образцов и картой микротвердости поверхностного слоя, характеризующей его упрочнение.

5. Установить на основе полученных данных взаимосвязи между параметрами волны деформации, формой и размерами упрочняемых образцов и картой микротвердости поверхностного слоя, характеризующей его упрочнение.

только выявить закономерности сквозного упрочнения образцов разных форм и размеров, но и установить возможность бесконтактного деформационного упрочнения противоположных воздействию ВДУ сторон образца, имеющих сложную форму, а также возможность бесконтактного деформационного упрочнения внутренних труднодоступных поверхностей.

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

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Селиванов В.В., Кобылкин И.Ф., Новиков С.А. Взрывные технологии: учеб. для вузов. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2014. 518 с.
 2. Хомская И.В. Фазовые и структурные превращения в сплавах на основе железа и меди при интенсивных ударно-волновых и деформационных воздействиях: дис. ... д-ра техн. наук. Екатеринбург, 2014. 299 с.
 3. Бабичев А.П., Бабичев И.А. Основы вибрационной технологии. Ростов н/Д: ДГТУ, 2008. 694 с.
 4. Бабичев А.П., Мотренко П.Д., Бабичев И.А. Отделочно-упрочняющая обработка деталей многоконтактным виброударным инструментом. Ростов н/Д: ДГТУ, 2003. 192 с.
 5. Kirichek A.V., Barinov S.V., Yashin A.V. The peculiarities of the influence of the finite sizes of a detail on the distribution of the surface layer microhardness in case it is hardened by a deformation wave // Journal of Nano and Electronic Physics. 2015. Vol. 7, no. 4. P. 04019.
 6. Пат. 2098259 РФ. Способ статико-импульсной обработки поверхностным пластическим деформированием / Лазуткин А.Г., Киричек А.В., Соловьев Д.Л. Бюл. № 34. 1997.
 7. Лазуткин А.Г., Киричек А.В., Степанов Ю.С., Соловьев Д.Л. Механика нагружения поверхности волной деформации. М.: Машиностроение-1, 2005. 149 с.
 8. Киричек А.В., Соловьев Д.Л., Лазуткин А.Г. Технология и оборудование статико-импульсной обработки поверхностным пластическим деформированием. М.: Машиностроение, 2004. 288 с.
 9. Киричек А.В., Лазуткин А.Г., Соловьев Д.Л. [и др.]. Упрочнение тяжело нагруженных поверхностей крестовин стрелочных переводов // Состояние и перспективы развития дорожного комплекса: сб. науч. ст. Брянск: БГИТА, 2001. Вып. 3. С. 39-41.
 10. Киричек А.В., Соловьев Д.Л., Медведев М.Н. Экспериментальные исследования статико-импульсного деформационного протягивания // Научно-технические проблемы в машиностроении. 2016. № 1 (55). С. 38-42.
1. Selivanov V.V., Kobylkin I.F., Novikov S.A. Explosive technologies: training for universities. The 2nd prod., reslave. And Additional Moscow: N.E. Bau-man MGTU, 2014. 518 pages.
 2. Chomskaya I.V. Phase and structural changes in alloys based on iron and copper under intense shock-wave and deformation effects: dis... Dr.s техн. sciences. Yekaterinburg, 2014. 299 pages.
 3. Babichev A.P., Babichev I.A. Foundations of vibrational technology. Rostov n/A: DGTU, 2008. 694 pages.
 4. Babichev A.P., Motrenko P.D., Babichev I.A. From-work-strengthening treatment of parts with a mno-gock vibration impact tool. Rostov n/A: DGTU, 2003. 192 pages.
 5. Kirichek A.V., Barinov S.V., Yashin A.V. The peculiarities of the influence of the finite sizes of a detail on the distribution of the surface layer microhardness in case it is hardened by a deformation wave // Journal of Nano and Electronic Physics. 2015. Vol. 7, no. 4. River 04019.
 6. Stalemate. 2098259 RUSSIAN FEDERATION. Method of static-pulse treatment by surface plastic de-formation (Lazutkin A.G., Kirichek A.V., Solovyev D.L. Bul. No. 34. 1997.
 7. Lazutkin A.G., Kirichek A.V., Stepanov Y.S., Solovyev D.L. Mechanics of loading of surface-wall by wave deformation. M.: Mechanical engineering-1, 2005. 149 pages.
 8. Kirichek A.V., Solovyev D.L., Lazutkin A.G. Technology and equipment of static-pulse treatment by surface plastic deformation. M.: Mechanical engineering, 2004. 288 pages.
 9. Kirichek A.V., Lazutkin A.G., Soloviev D.L. [et al]. Strengthening of heavy-loaded crossbars of switches//Performance and prospects of road complex development: науч. Art. Bryansk: BGITA, 2001. Issue. 3. Page 39-41.
 10. Kirichek A.V., Solovyev D.L., Medvedev M.N. Experimental research of static-pulse deformation stretching//Knowledge-intensive technologies in mechanical engineering. 2016. № 1 (55). Page 38-42.

Ссылка для цитирования:

Киричек А.В., Баринов С.В., Яшин А.В., Зайцев А.А., Константинов А.М. Проблема учета реальных размеров изделий при волновом деформационном упрочнении // Вестник Брянского государственного технического университета. 2020. № 1. С. 4–10. DOI: 10.30987/1999-8775-2020-2020-1-4-10.

Статья поступила в редакцию 17.12.19.

Рецензент: д.т.н., профессор Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета

Мокрицкий Б.Я.,

член редсовета журнала «Вестник БГТУ».

Статья принята к публикации 09. 01. 20.

Сведения об авторах:

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

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

Яшин Александр Васильевич, ст. преподаватель кафедры «Технология машиностроения» Муромского института (филиала) Владимирского

государственного университета им. А.Г. и Н.Г. Столетовых, e-mail: yashin2102@yandex.ru.

Зайцев Алексей Андреевич, Магистрант кафедры «Технология машиностроения» Муромского института (филиала) Владимирского государственного университета им. А.Г. и Н.Г. Столетовых, e-mail: armitp@yandex.ru.

Константинов Александр Михайлович, магистрант кафедры «Технология машиностроения» Муромского института (филиала) Владимирского государственного университета им. А.Г. и Н.Г. Столетовых, e-mail: armitp@yandex.ru.

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

Barinov Sergey Vladimirovich, Can. Sc. Tech., Assistant Prof. of the Dep. "Engineering Technique", Murom Institute (Branch) of Stoletovs State University of Vladimir, e-mail: box64@rambler.ru.

Yashin Alexander Vasilievich, Senior lecturer of the Dep. "Engineering Technique", Murom Institute (Branch) of Stoletovs State University of Vladimir, e-mail: yashin2102@yandex.ru.

Zaitsev Alexey Andreevich, Master student, Department of Engineering Technology, Murom Institute (branch) of Vladimir State University named after A.G. and N.G. Stoletov, e-mail: armitp@yandex.ru.

Konstantinov Alexander Mikhailovich, Master degree student of the Dep. "Engineering Technique", Murom Institute (Branch) of Stoletovs State University of Vladimir, e-mail: armitp@yandex.ru.