

Баринов С.В.

*Муромский институт (филиал) федерального государственного образовательного учреждения высшего образования «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»  
602264, г. Муром, Владимирская обл., ул. Орловская, 23  
armitr@yandex.ru*

### Моделирование процесса зарождения ударного импульса в очаге деформации.

Для повышения работоспособности и надежности деталей машин в технологии машиностроения успешно применяются методы поверхностного пластического деформирования (ППД) [1-3]. Известно, что с энергетической точки зрения динамическое воздействие при ППД более выгодно по сравнению со статическим, особенно при формировании большой глубины упрочнения. При этом значительным недостатком динамических (ударных) методов является то, что энергия удара расходуется на пластическую деформацию нерационально. Это связано с тем, что с увеличением скорости нагружения уменьшается время протекания пластической деформации, поэтому ее значение будет зависеть не только от силы удара, т.е. амплитуды ударного импульса, но и от его длительности, что обычно при упрочнении ППД не рассматривалось. Учет данного факта стал возможен с появлением волнового деформационного упрочнения (ВДУ). Особенность способа заключается в генерировании волн деформации ударной системой с промежуточным звеном и сообщении их в очаг деформации с целью упрочнения ответственных поверхностей деталей машин. Эффективность способа обеспечивается за счет более полного использования энергии волны деформации в процессе упрочнения. Это достигается за счет предварительного статического поджатия системы «инструмент-волновод» к обрабатываемой поверхности и последующего динамического нагружения бойком. Статическое поджатие обеспечивает рекуперацию отраженных волн деформации. В результате обработки, глубина упрочненного слоя составляет 6-8 мм, а степень упрочнения достигает 150% [2].

Так как процесс ВДУ разработан достаточно недавно, то большинство исследований проводились исключительно экспериментально. Для всестороннего понимания процесса ВДУ необходимо детально знать, что происходит в ударной системе после удара бойком по статически поджатому волноводу к среде нагружения, как формируется волна деформации, что оказывает влияние на передачу энергии ударного импульса. Решение перечисленных задач возможно только в комплексе, это связано с тем, что рассматриваемы факторы связаны между собой и влияют друг на друга. Оценить степень влияния того или иного фактора на формирование ударного импульса лучше всего визуально.

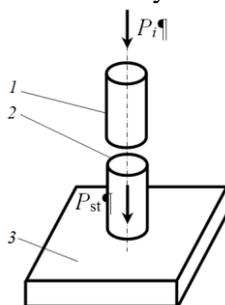


Рис.1. Схема ударной системы: 1 – боек; 2- волновод; 3- среда нагружения (образец)

Целью данной работы является разработка методики моделирования процесса волнового деформационного упрочнения, на основе модели формирования ударного импульса в очаге деформации, с применением средств современного инженерного анализа.

Для визуализации быстротечных ударных процессов (порядка  $10^{-5}$ с), хорошо зарекомендовал себя метод конечных элементов [4,5]. На его принципе основаны современные средства инженерного анализа. Лидером в данной области является программный комплекс Ansys. Разработка методики моделирования, на основе модели ударного импульса в очаге

деформации, в процессе волнового деформационного упрочнения делится на четыре этапа (рис.2). На первом этапе, в разделе Workbench программы Ansys, в графическом модуле создаются элементы модели: боек, волновод и среда нагружения. Затем в модуле Engineering Data создаются модели материалов ударной системы и среды нагружения. На втором этапе в модуле Static Structural задается предварительно статическое поджатие волноводом среды нагружения. На третьем этапе происходит моделирование быстротечной ударной нагрузки в модуле LS-Dyне. На четвертом этапе, в модуле Solution, происходит обработка и визуализация результатов моделирования. Модуль позволяет визуализировать в модели действия различных видов деформаций, напряжений и т.д.

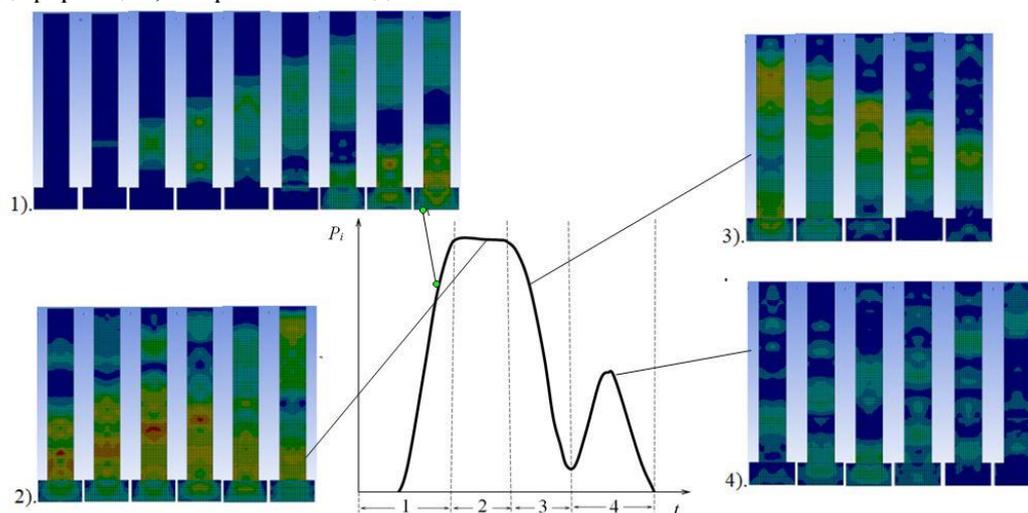


Рис.2. Ударный импульс: 1 – фронт нарастания; 2- период действия ударного импульса; 3- фронт спада; 4 – повторное действие отраженного ударного импульса (хвостовая часть).

Разработанная методика позволила визуально оценить распространение волны деформации в ударной системе и среде нагружения в случае нанесения единичного удара бойком. Визуализация распространения ударного импульса в элементах модели за время равное периоду длительности ударного импульса представлена на рисунке 2.

Заключение.

Разработанная методика визуализации, на основе модели распространения ударного импульса позволит не только выявить особенности его распространения в разных типах ударных систем, но и установить такие их типы, которые позволят более полно передавать в среду нагружения ударную нагрузку. Полученные данные о процессе распределения ударного импульса в элементах ударных систем и среде нагружения, позволят более эффективно выбирать элементы ударных систем под конкретные задачи упрочнения.

### Литература

1. Visualizing the process of forming a shock pulse in the deformation zone / A. V. Kirichek, S. V. Barinov, M. N. Ryzhkova, A. V. Yashin // CEUR Workshop Proceedings, Bryansk, 23–26 сентября 2019 года. – Bryansk: Без издательства, 2019. – P. 265-267.
2. Kirichek A.V., Barinov S.V., Yashin A.V., "Patterns of Wave Deformational Multicontact Half-Subspace Loading", Key Engineering Materials, Vol. 736, pp. 12-17, 2017. DOI 10.4028/www.scientific.net/KEM.736.12
3. Kirichek A.V., Barinov S.V., Aborkin A.V., Yashin A.V., Zaicev A.A. Strengthening of the surface layer of the material by wave deformation multi-contact loading, Materials Science and Engineering, 2017
4. Strang G. and Fix G. J., "An Analysis of the Finite Element Method," Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, 1973.
5. Mechanics of plastic deformation in metal processing / Erich Gottfried Thomsen, Charles T. Yang, Shiro Kobayashi. – 1965. – 486 p.