

Баринов С.В., Никитина Л.Г.

*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
armitp@yandex.ru*

Моделирование процесса обработки сварных швов волной деформации.

В современном мире цифровые технологии рассматриваются как средство описания полного цикла жизни изделия – от проектирования и изготовления, до эксплуатации и утилизации. Научно-техническим отраслям промышленности поставлена грандиозная задача еще до запуска изделия и составляющих ее деталей в производство, создать, изготовить и испытать в условиях эксплуатации математические модели. Наименее проработанными с позиции моделирования являются технологические процессы изготовления деталей. Проблемы их моделирования во многом связаны не только с большим количеством технологических факторов, но и с изменением формы и размеров детали в процессе обработки, непрерывно и динамически меняющимся напряженно-деформированным состоянием изделия, необходимостью учета тепловых процессов. Немалую сложность представляет и решение проблемы передачи информации об изделии при переходе от одной операции к другой. Так как для моделирования разных операций разработаны и предлагаются разные программные средства, на этапе межоперационного перехода неизбежна потеря части информации. Проблема стоит особенно остро для передачи информации между технологическими процессами, отличающимися по физическому характеру воздействий на материал исходной заготовки.

Целью работы является получение единой конечно-элементной модели комплексного процесса, позволяющей получить визуальную информацию о влиянии параметров процесса сварки на результаты процесса волнового деформационного упрочнения (ВДУ) материала сварного шва.

Моделирование взаимосвязанных последовательно выполняющихся технологических процессов разной физической природы – сварки и упрочнения, позволяют получить более общую и объективную визуальную информацию о процессе в целом. Известные конечно-элементные модели процесса сварки не предполагают моделирование последующих воздействий на сварной шов [1,5,6]. Известные средства современного инженерного анализа в большинстве случаев не специализируются на моделировании быстротекущих ударных процессов (длительностью $10^{-7} \dots 10^{-5}$ секунды), что характерно для ВДУ.

Суть ВДУ [2] заключается в волновом нагружении обрабатываемого материала ударными импульсами с заданной скважностью, энергией и длительностью. ВДУ обладает возможностями повышения микротвердости и формирования сжимающих остаточных напряжений на глубине более 10 мм. Это делает использование метода перспективным для повышения прочности сварных швов. Известна апробированная на сплошном материале конечно-элементная модель ударной системы с промежуточным звеном (волноводом). Она позволяет исследовать закономерности влияния параметров элементов ударной системы и материала среды нагружения на эффективность передачи энергии ударного импульса [3,4], однако не позволяет использовать в качестве исходной информации результаты моделирования процесса сварки.

Моделирование в программном комплексе Ansys выполняется поэтапно, при этом выходные данные более раннего этапа моделирования выступают в качестве исходных данных последующего этапа. Выбор Ansys обоснован высокой достоверностью получаемых данных и широким набором мультидисциплинарных расчетных модулей, объединенных на одной платформе. Разработка конечно-элементной модели процесса обработки сварных швов волной деформации состояла из двух этапов. На первом этапе, с использованием ранее полученных данных, создавалась конечно-элементная модель сварного шва. Второй этап, представлял собой

объединение данных, полученных в результате моделирования сварного шва с моделью упрочнения волной деформации в единую конечно-элементную модель процесса обработки сварных швов волной деформации.

В качестве примера использования разработанной методики создавалась единая конечно-элементная модель процесса обработки сварных швов волной деформации. Так сварное изделие состояло из двух стальных пластин марки 40Х с размерами 150*70*10 мм (рис.1). Сварка выполнялась за два прохода, полуавтоматом, с силой тока корневого и лицевого шва, соответственно, 185 и 130А. Наплавляемый материал - сталь марки 40Х. Разделка кромок сварных заготовок по ГОСТ 5264-80. Режимы ВДУ: энергия ударов 70 Дж; коэффициент перекрытия $K=0,3$; инструмент стержневой ролик длиной 40 мм и диаметром 10 мм. В качестве примера смоделировано семь ударов инструмента по поверхности сварной заготовки. Адекватность полученных данных в результате моделирования устанавливалась на основании их сравнения с экспериментальными данными, полученными при аналогичных условиях. В модели сварной заготовки сравнивалась карта распределения микротвердости в поверхностном слое до и после ВДУ, оценивались размеры единичных отпечатков и распределение карты твердости под ними. Полученные в результате моделирования значения соответствуют результатам эксперимента с уровнем доверительной вероятности 0,95.

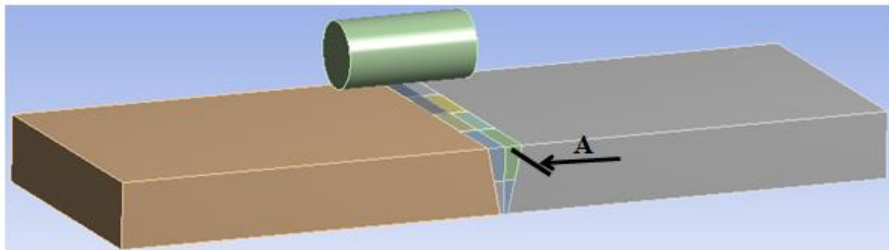


Рис.1. Схема модели.

На рисунках 2 и 3 представлено распределение остаточных напряжений в сварных швах до и после ВДУ. Полученные данные говорят о снижении величин растягивающих напряжений (данные со знаком «плюс») и переходе их в сжимающие (данные со знаком «минус»), в среднем, по глубине на 8 мм.

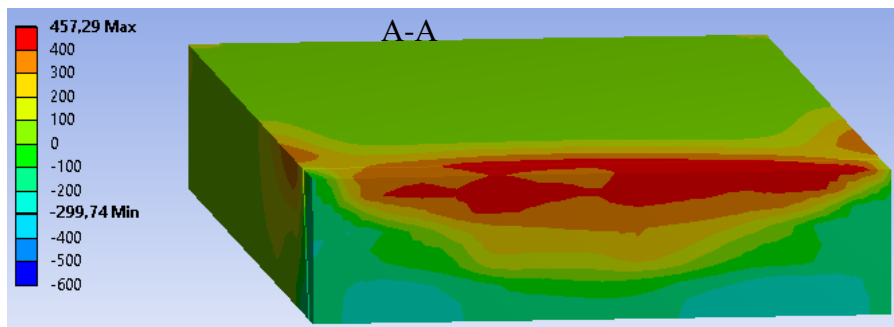


Рис.2. Распределение остаточных напряжений в образце после сварки

Подводя итоги выполненной работы, необходимо отметить, что:

- на первом этапе решается задача моделирования процесса формирования сварного шва с возможностью расчета температурных полей, полей напряжений и деформаций в процессе нагрева и охлаждения сварной заготовки;
- на втором этапе расчетные данные импортируются в конечно-элементную модель обработки сварных швов волной деформации;
- единая конечно-элементная модель позволяет строить карты микротвердости по выбранным

(опасным) сечениям и визуально отслеживать изменение напряжений и деформаций в сварных заготовках в зависимости от технологических режимов упрочнения волной деформации.

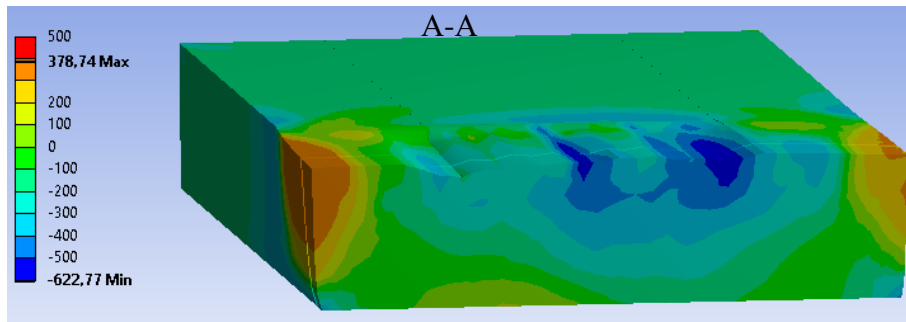


Рис. 3. Распределение остаточных напряжений в сварном образце после ВДУ

Полученная визуальная информация позволяет выполнять качественную и количественную оценку результата комплексного процесса, что способствует повышению несущей способности и работоспособности изделия в целом.

Литература

1. Kirichek, A. Visualization of the process of processing welds by a deformation wave / A. Kirichek, S. Barinov, A. Yashin // CEUR Workshop Proceedings : 30, Saint Petersburg, 22–25 сентября 2020 года. – Saint Petersburg, 2020. Vol. 2744.
2. Киричек А.В., Соловьев Д.Л., Лазуткин А.Г. Технология и оборудование статико-импульсной обработки поверхностным пластическим деформированием (2004)
3. Kirichek A.V., Barinov S.V., Ryzhkova M.N., Yashin A.V. Visualizing the process of forming a shock pulse in the deformation zone // CEUR Workshop Proceedings, vol. 2485, pp. 265-267. (2019)
4. Kirichek, A.V., Barinov, S.V., Yashin, A.V., Konstantinov, A.M. Study of the influence of cross section sizes of the rod shock system on the efficiency of shock pulse energy transfer to the deformation center // Applied Mathematics, Computational Science and Mechanics: Current Problems IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series 1479 (2020) 012067 IOP Publishing doi:10.1088/1742-6596/1479/1/012067
5. Пронин А.И. Развитие методов оценки работоспособности кольцевых сварных швов газопроводов компрессорных станций: диссертация кандидата технических наук: 25.00.19. (2009)
6. Porowski J.S., O'Donnell W.J., et al. Use of the mechanical stress improvement process to mitigate stress corrosion cracking in BWR piping system. Nuclear Engineering and Design, vol. 124, p. 91-100 (1990)