

ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ УДАРНОЙ ОБРАБОТКИ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ

¹Мордюк Б.Н., ²Красовский Т.А., ³Попова Т.В., ¹Прокопенко Г.И.

¹*Институт металлофизики им. Г.В. Курдюмова НАН Украины, г. Киев, Украина*

²*Физико-технический учебно-научный центр НАН Украины, г. Киев, Украина*

³*Государственное предприятие «Украинский НИИ вагоностроения»*

г. Кременчуг, Украина, E-mail: mordyuk@imp.kiev.ua

Одним из перспективных методов формирования мелкозернистой структуры поверхностного слоя и благоприятного перераспределения остаточных напряжений является ультразвуковая ударная обработка (УЗУО). Она дает возможность существенного повышения усталостной прочности изделий машиностроения, преимущественно, сварных конструкций.

Новые возможности упрочнения поверхности с помощью ультразвука были достигнуты с изобретением способа передачи энергии ультразвуковых колебаний в изделие через промежуточный деформирующий элемент, который помещался между торцом концентратора и обрабатываемой поверхностью в небольшом зазоре (~ 0,01 – 0,05 мм) и совершал интенсивные вынужденные колебания с частотой порядка 1 – 3 кГц. Такой способ предложили в начале 70-х годов прошлого века Либби Д. и Графф К. (США), Нерубай М.С., Крылов Н.А., Полищук А.М., Статников Е.Ш. (Россия) и Прокопенко Г.И. (Украина). Статников Е.Ш. с сотрудниками впервые запатентовал инструмент с магнитострикционным излучателем ультразвука, и головкой со стержневыми ударниками [1]. В последнее время для ультразвуковых инструментов, как правило, используются излучатели на пьезокерамике различных фирм Китая, Франции, Канады, Ирана и других стран.

В Институте металлофизики им. Г.В. Курдюмова НАН Украины, начиная с 70-х годов прошлого века и до настоящего времени, проводились всесторонние исследования природы процессов, происходящих при УЗУО. Предложены физические модели, связывающие увеличение плотности дислокаций и точечных дефектов со стадийной последовательностью структурных изменений вплоть до образования наноструктур в поверхностном слое. Изучены механизмы фазовых превращений и аномального массопереноса атомов, механохимических реакций при обработке в различных средах, а также причины возникновения, релаксации и перераспределения остаточных макронапряжений. Были изучены особенности ударного взаимодействия промежуточного деформирующего элемента с колеблющейся и неподвижной поверхностями [2]. Теоретические аспекты этого процесса изложены в работе белорусских авторов [3].

Первые образцы оборудования для УЗУО были разработаны под руководством Е.Ш. Статникова на СЕВМАШ предприятии (СМП) в начале 70-х годов. Для генерации ультразвука использовались магнитострикционные ультразвуковые излучатели с резонансной частотой 27 кГц, мощностью 1,2 кВт и с жидкостным охлаждением. Это оборудование было усовершенствовано и к настоящему времени известно под торговой маркой ESONIX®UIT. В 1997 г. Е.Ш. Статников создал в США компанию Applied Ultrasonics, которая специализируется на коммерческом использовании данной технологии и оборудования и имеет филиалы в разных странах. Приборы с аналогичными техническими характеристиками выпускаются компанией ИНЛАБ (г. Санкт-Петербург, Россия).

Работы по созданию технологического оборудования для УЗУО изделий и сварных соединений с использованием пьезокерамических преобразователей, были начаты в Институте металлофизики НАН Украины в 1992 г. Была проведена работа по оптимизации мощности ультразвукового генератора. Установлено, что потребляемая электрическая мощность оборудования может быть снижена до 0,3 – 0,6 кВт. Это позволило существенно уменьшить вес и стоимость оборудования, заменить водяное охлаждение воздушным [4]. Известно, что прочность сварного соединения незначительна в результате изменения структуры при расплавлении металла,

появления концентраторов напряжений и дефектов, а также возникновения растягивающих напряжений в зоне шва при его затвердевании. Если они складываются с внешними циклическими нагрузками, наступает преждевременное усталостное разрушение в зоне соединения, которое иногда приводит к катастрофическим последствиям. Испытания оборудования с пьезокерамическим излучателем в ИЭС им. Е.О. Патона НАН Украины при УЗУО образцов со сварными швами показало, что усталостная долговечность сравнима с той, которая получена после обработки инструментом с магнитострикционным излучателем, мощностью 1,2 кВт.

Применение пьезокерамических излучателей имеет ряд преимуществ. Главные из них: высокий КПД установок, снижение веса и энергопотребления, отсутствие жидкостного охлаждения. Оптимальная мощность генераторов и излучателей на пьезокерамике находится в диапазоне 0,3 – 0,6 кВт. Схемные решения ультразвукового генератора защищены патентом Украины [5]. Кроме того, мы предложили использовать сменные ударные головки с разным количеством и диаметром стержневых ударников. Это расширило технологические возможности оборудования и ускорило процесс УЗУО [6]. Созданное оборудование является портативным и имеет небольшие габариты и вес, что позволяет использовать его в полевых условиях при отсутствии жидкостного охлаждения.

В основу создания нового поколения УЗГ с цифровым управлением было положено максимальное использование готовых, практически испытанных схемных решений, с использованием системы цифрового синтеза частоты и фазовой автоподстройки пьезокерамического излучателя. Были изготовлены два варианта оборудования на резонансные частоты 22 и 27 кГц (рис. 1 а, б). Использование более высокой частоты колебаний позволило снизить вес ультразвукового инструмента с 3,0 до 2,2 кг. Многолетний опыт применения ультразвуковой обработки металлов для упрочнения поверхности позволил сформулировать основные требования к ультразвуковому излучателю и к ударному инструменту. Достижения последних лет в области создания современных высокоэффективных пьезокерамических материалов позволили отказаться от громоздких магнитострикционных источников ультразвуковых колебаний, что дало толчок к последующему совершенствованию и созданию принципиально новых излучателей на основе пьезокерамических преобразователей большой мощности [7]. Использование новейших электронных технологий и современной элементной базы позволило создать компактный УЗГ с габаритами 295x215x105 мм, весом 4,5 кг и мощностью до 650 Вт на частоте 27 кГц. Вес прибора с ультразвуковым ударным инструментом составляет 6,2 кг (рис. 1 б). В нем использована полная автоматизация подстройки параметров УЗГ и защита электронной схемы от перегрузок.

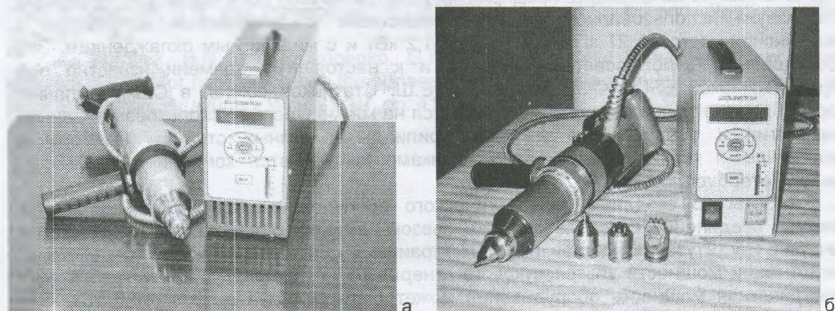


Рисунок 1 – Ультразвуковое оборудование для УЗУО: а) 22 кГц, б) 27 кГц

Одним из основных преимуществ ультразвукового ударного инструмента, например, в сравнении с пневмодинамическим, является снижение вредных для организма человека шумов и вибраций его корпуса. Испытания, проведенные в Государственном НИИ «ГИДРОПРИБОР», г. Киев, показали, что шумы в ультразвуковом и звуковом диапазонах частот не превышают допустимых норм, которые приняты в ГОСТ 12.1.001–89.

Данное оборудование было внедрено на ПАО «Крюковский вагоностроительный завод» и на ООО «Инструментальный завод» (г. Кременчуг) в 2013 г. В настоящее время УЗУО проводится на стыковых сварных соединениях панелей боковых стен вагонов метро и пассажирских железнодорожных вагонов, а также на рамах тележек вагонов метрополитенов.

Накопленные к настоящему времени результаты экспериментальных исследований эффективности применения УЗУО для повышения сопротивления усталости сварных соединений конструкционных материалов, могут служить основанием для включения данного вида поверхностного наклепа в нормы проектирования и изготовления сварных конструкций.

Список литературы:

1. А.с. СССР № 472782. Ультразвуковая головка для деформационного упрочнения и релаксационной обработки / Е.Ш. Статников, Л.В. Журавлев, А.Ф. Алексеев и др. // Опубликовано. 06.06.75. – Бюллетень. № 21.
2. Прокопенко Г.И., Лятун Т.А. Исследование режимов поверхностного упрочнения с помощью ультразвука // Физ. и хим. обработки матер.– 1977.– № 3.– С. 91–95.
3. Клубович В.В., Вагапов И.К., Сакевич В.Н. Исследование виброударных режимов тела массой m , движущегося между неподвижным и колеблющимся ограничителями // ДАН БССР. – 1986. – Т. 30, № 8. – С. 717–719.
4. Прокопенко Г.И., Недосека А.Я., Грузд А.А., Красовский Т.А. Разработка и оптимизация оборудования и процесса ультразвуковой ударной обработки сварных соединений с целью снижения остаточных напряжений // Техническая диагностика и неразрушающий контроль.– 1995.– № 3.– С. 14–22.
5. Патент Украины № 8366. Устройство для ультразвуковой обработки / Т.А.Красовский, Г.И.Прокопенко, А.Ф. Твердохлеб. – Бюлл. № 1 от 29.03.96.
6. Патент Украины № 13936. Ультразвуковая головка для поверхностного упрочнения металлических поверхностей / Г.И.Прокопенко, А.В.Козлов. – Бюллетень № 2 от 25.04.97.
7. Prokić M. Piezoelectric Transducers Modeling and Characterization. – Bern: Published in Switzerland by MPI, 2004. – 266 p.
8. Лобанов Л.М., Кирьян В.И., Кныш В.В., Прокопенко Г.И. Повышение сопротивления усталости сварных соединений металлоконструкций высокочастотной механической проковкой. (Обзор) // Автомат. сварка.– 2006.– № 9.– С. 3 – 11.