

Исследование и Разработка Ультразвуковых Сварочных Инструментов

В.Н. Хмелев, С.С. Хмелев, Г.А. Боброва, К.А. Карзакова

Центр ультразвуковых технологий, Бийск, Россия

Бийский технологический институт (филиал) Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова, Бийск, Россия

Аннотация – Статья посвящена разработке и созданию ультразвуковых сварочных инструментов, предназначенных для формирования протяженных швов методом прессовой сварки, в частности решению задачи формирования равномерного распределения колебаний вдоль излучающей поверхности, размер которой превосходит половину длины волны УЗ колебаний в материале инструмента. Выявлены зависимости распределения амплитуды колебаний вдоль излучающей поверхности сварочного инструмента от формы и размеров инструмента. Возможность создания инструмента с равномерным распределением амплитуды колебаний подтверждена результатами экспериментальных исследований на практически созданной колебательной системе со сварочным инструментом, предназначенным для формирования сварного шва длиной 220 мм.

Ключевые слова: ультразвуковой сварочный инструмент, амплитуда колебаний, ультразвуковая сварка.

ВВЕДЕНИЕ

Повышение производственных процессов и качества продукции является одним из главных факторов в развитии промышленности. Для обеспечения перечисленных условий необходимы современные, эффективные, наукоемкие технологии и оборудование.

Одним из перспективных промышленных применений ультразвука является ультразвуковая сварка. Она представляет собой способ создания неразъемных соединений с помощью энергии, выделяющейся в зоне контакта свариваемых деталей, при прохождении через неё ультразвуковых колебаний.

На сегодняшний день ультразвуковое сварочное оборудование представлено в различных вариантах, однако наиболее востребованными современной промышленностью являются ультразвуковые аппараты для шовно-шаговой прессовой сварки, имеющие в качестве рабочего органа ультразвуковую колебательную систему со сварочным инструментом, позволяющим за один прижим сформировать сварочные

швы длиной, более половины длины волны в материале инструмента. Для инструмента из титанового сплава на частоте 20 кГц этот размер соответствует 127 мм

Необходимость формирования протяженных швов при соединении конструкционных изделий и листовых материалов (например, георешетки), упаковке сыпучих и жидких продуктов в мешки из полимерных материалов, изготовлении канцелярских товаров и др., обуславливает актуальность работы по созданию и эффективному использованию рабочих инструментов такого типа.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Для формирования протяженных швов при соединении изделий и материалов необходимы рабочие инструменты с излучающей поверхностью, один из размеров которой (определяющий длину формируемого шва) превосходит половину длины волны УЗ колебаний в материале инструмента, а второй из размеров (определяющий ширину формируемого шва) значительно меньше половины длины волны УЗ колебаний в материале инструмента.

При создании таких рабочих инструментов их выполняют в виде волноводных систем, представляющих собой пластины резонансного размера, призванные совершать в процессе эксплуатации продольные колебания.

Однако при использовании волноводных систем, представляющих собой пластины, продольный размер которых определяется резонансной частотой инструмента (соответствует половине длины волны на рабочей частоте колебательной системы), а ширина (длина формируемого шва) превышает половину длины, возникают сложные по форме колебания рабочего инструмента, отличающиеся от продольных колебаний. В этом случае, вдоль излучающей поверхности инструмента возникает сложное распределение колебаний, обусловленное интерференцией различных мод колебаний и обеспечить равномерное распределение ам-

плитуды колебаний вдоль излучающей поверхности невозможно.

По этой причине, решение задачи обеспечения равномерности амплитуды колебаний вдоль излучающей поверхности, создаваемого для выполнения швов различной длины инструмента, представляет собой достаточно сложную, многофакторную задачу.

Таким образом, целью работы является исследование зависимостей распределения амплитуды колебаний вдоль поверхности от различных модификаций формы рабочего инструмента для выявления условий обеспечения равномерного распределения амплитуды и использования полученных данных для создания ультразвуковых колебательных систем для шовно-прессовой сварки. Решению поставленной цели посвящена статья.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПЛАСТИНЫ-ЗАГОТОВКИ

Известно, что для обеспечения равномерной амплитуды колебаний на практике используют несколько способов модификации формы пластины – добавление пазов, отверстий, локальное изменение толщины, добавление механических фильтров.

Вместе с тем, на первом этапе разработки необходимо предложить и использовать сварочный инструмент, форма которого, при последующей модификации обеспечит формирование колебаний с амплитудой, необходимой для обеспечения качественного сварного соединения. Как известно из работ по теории и практике ультразвуковой сварки [1] это значение составляет около 38–42 мкм.

Поскольку амплитуда колебаний активного элемента – пьезоэлектрического преобразователя ограничена (как правило, это 5–10 мкм), то для получения необходимых значений амплитуды требуется использовать в конструктивной схеме колебательной системы дополнительные усиливающие звенья. Сам рабочий инструмент так же должен обеспечивать некоторый коэффициент усиления.

Таким образом, форма рабочего инструмента должна быть таковой, что бы в своем поперечном сечении представлять трансформатор колебательной скорости – концентратор. Для проектирования концентрирующей формы воспользуемся методикой расчета, подробно описанной в [2].

В результате расчета формируем профиль поперечного сечения, представленный на рис. 1.

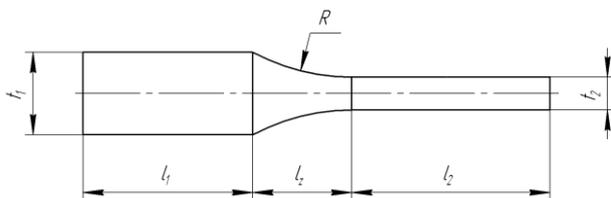


Рис. 1. Профиль поперечного сечения сварочного инструмента

Сам сварочный инструмент получается методом выдавливания данного профиля на заданную ширину. Значение t_1 , как правило, обуславливается толщиной

титановой пластины, используемой для вырубки заготовки, и чаще всего выбирается равной 20 мм. Выходная толщина t_1 обуславливается требуемым коэффициентом усиления и в большинстве случаев принимается равной 8 мм. При расчете величин l_1 , l_2 , l_2 принимается скорость распространения УЗ колебаний равная 4950 м/с (для титанового сплава), расчетная резонансная частота соответствует 22000 Гц.

ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ АМПЛИТУДЫ ОТ РАЗЛИЧНЫХ СПОСОБОВ МОДИФИКАЦИИ ФОРМЫ ПЛАСТИНЫ

Для корректировки размеров поперечного сечения, полученных на этапе проектирования пластины-заготовки, а так же исследования распределения амплитуды вдоль поверхности инструмента было предложено использовать прямой численный метод конечных элементов. При этом, разработка трехмерных моделей сварочных инструментов осуществлялась посредством системы автоматизированного твердотельного проектирования, а результаты расчета затем экспортировались в систему конечно-элементного моделирования.

Один из самых основных способов модификации пластины – это добавление пазов. Они служат для того, что бы разорвать связь между участками плоского волновода, позволив им колебаться в моде, наиболее приближенной к продольной [3]. При исследовании влияния распределения колебаний вдоль излучающей поверхности инструмента варьированию подвергались такие параметры, как ширина пазов, высота пазов и расстояние между ними.

На первом этапе для исследования был выбран инструмент с излучающей поверхностью 150 мм. Результаты компьютерного моделирования при различных параметрах пластины представлены в табл. 1. Равномерность амплитуды оценивали как отношение амплитуды колебаний на краю волновода к амплитуде в центре волновода. Чем больше это отношение – тем равномернее амплитуда колебаний.

Табл.1. Результаты моделирования сварочного инструмента шириной 150 мм

Ширина паза, мм	Расстояние между пазами, мм	Отношение амплитуды
5	40	0,15
7	40	0,51
6	40	0,77
8	40	0,47
9	45	0,25
10	45	0,37
11	30	0,30
12	35	0,60

Как следует из данных, представленных в таблице, наибольшая равномерность амплитуды колебаний достигается при ширине паза 6 мм и расстоянии между ними, равном 40 мм.

На следующем этапе было исследовано влияние высоты пазов на распределение колебаний излучающей поверхности сварочного инструмента.

Ширина паза была выбрана 6 мм (исследования при других размерах ширины паза дали худшие результаты), высота паза изменялась от 40 до 60 мм. Данные расчетов представлены в табл. 2.

Табл.2. Результаты моделирования сварочного инструмента шириной 220 мм

Высота паза, мм	Расстояние между пазами, мм	Отношение амплитуды
50	40	0,15
55	40	0,51
60	40	0,8
45	40	0,47
40	40	0,25

Как видно из представленной таблицы наиболее равномерная амплитуда колебаний достигается при высоте паза 60 мм.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

По результатам компьютерного моделирования различных по размерам инструментов был изготовлен ультразвуковой сварочный инструмент шириной 220 мм с пазами, размеры которых были выбраны оптимальными по предложенной методике расчета.

Для проведения эксперимента излучающая поверхность пластины была разделена на девять точек, в каждой из которых многократно была определена амплитуда (рис. 2).

Измерение амплитуды системы проводили при помощи пьезоэлектрического приемного преобразователя с сухим точечным контактом [4] при питании УЗКС от низковольтного генератора.

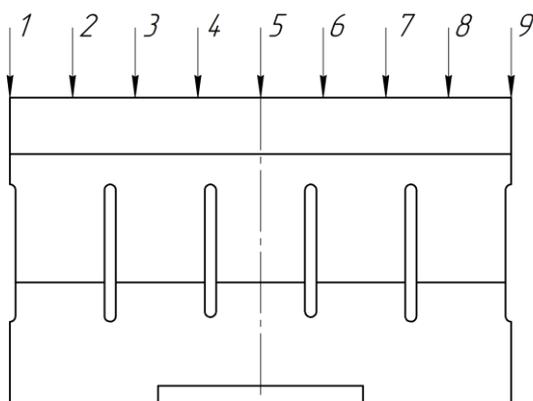


Рис. 2. Точки измерения амплитуды колебаний

Полученные результаты приведены в табл. 3.

Табл.3. Результаты измерения

Номер точки	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Амплитуда	2,2	2,2	2,4	2,6	3,0	2,6	2,4	2,2	2,2

Как видно из результатов измерений отношение амплитуды на краю к амплитуде в центре составило около 0,7, при этом наблюдается симметричное распределение относительно центра волновода. Данные результаты измерений соответствуют результатам,

полученным при помощи компьютерного моделирования распределения амплитуды колебаний вдоль излучающей поверхности.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные исследования зависимостей распределения амплитуды колебаний вдоль поверхности при различных модификациях формы рабочего инструмента позволили выявить условия обеспечения равномерного распределения амплитуды и создать практические конструкции рабочих инструментов для шовно-прессовой сварки.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Волков С.С. Сварка и склеивание пластмасс [Текст] / С.С. Волков, Ю.Н. Орлов, Р.Н. Астахова. – Издательство «Машиностроение», 1972.
2. Khmelev V.N. Calculation Features of the Ultrasonic Vibrating System [Текст] / V.N. Khmelev, S.S. Khmelev, G.A. Bobrova, K.A. Karzakova, S.N. Tsyganok // 14th International Conference of Young Specialist on Micro/Nanotechnologies and Electron Devices EDM 2013: Conference Proceedings. – Novosibirsk: NSTU, 2013. – P. 143–146.
3. Вьюгинова А.А. Исследование и разработка методов проектирования одно- и двумерных ультразвуковых технологических волноводов сложной формы с оптимальными характеристиками [Текст]: дис. канд. техн. наук.: 01.04.06: защищена 25.12.12 / Вьюгинова Алена Александровна. – С.-Петербург, 2012. – 138 с.
4. Хмелев В.Н. Ультразвуковые многофункциональные и специализированные аппараты для интенсификации технологических процессов в промышленности, сельском и домашнем хозяйстве [текст] / В.Н. Хмелев, Г.В. Леонов, Р.В. Барсуков, С.Н. Цыганок, А.В. Шалунов // Алт. гос. техн. ун-т, БТИ. – Бийск: изд-во Алт. гос. техн. ун-та, 2007. – 400 с.

Хмелев Владимир Николаевич – д.т.н., профессор, заместитель директора по научной работе, Бийский технологический институт (филиал) ФГБОУ ВПО АлтГТУ, тел. (3854)432481, e-mail: vnh@bti.secna.ru.

Хмелев Сергей Сергеевич – к.т.н., доцент кафедры методов и средств измерений и автоматизации, Бийский технологический институт (филиал) ФГБОУ ВПО АлтГТУ, тел. (3854)432470, e-mail: ssh@bti.secna.ru.

Карзакова Ксения Александровна – студент, Бийский технологический институт (филиал) ФГБОУ ВПО АлтГТУ, тел. (3854)432470.

Боброва Галина Алексеевна – студент, Бийский технологический институт (филиал) ФГБОУ ВПО АлтГТУ, тел. (3854)432470.