

УДК 534-8, 621.9.048.6

## УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ИНСТРУМЕНТ ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ АДДИТИВНОЙ ТЕХНОЛОГИИ

Д. С. ФАТЮХИН, Р. И. НИГМЕТЗЯНОВ,  
В. К. КОЛЬДЮШОВ, Л. В. БАТОВА

Московский автомобильно-дорожный государственный технический  
университет (МАДИ)  
Москва, Россия

Одним из способов печати металлических деталей является ультразвуковая аддитивная технология UAM (Ultrasound Additive Manufacturing Technology) [1]. Данная технология основана на сварке трением металлических листов под действием давления и ультразвуковых колебаний, передаваемых элементам соединения [2]. Предварительно раскрытые листы фольги послойно сваривают, после чего проводится фрезерная контурная постобработка. К основным преимуществам UAM относят низкие температуры соединения листов и возможность соединения таких материалов, как медь, сталь, алюминиевые и титановые сплавы, а также их комбинации [3].

С точки зрения разработки оборудования для реализации процесса UAM наиболее трудоёмким является расчет волновода-концентратора, который представляет собой ступенчатый вал.

Особенности конструкции такого волновода следующие. На рабочей поверхности волновода, непосредственно выполняющей работу по сварке листов (ролик), должна быть обеспечена наибольшая возможная амплитуда колебаний, касательных к поверхности элементов свариваемого соединения (сдвиговые колебания). К участкам волновода, которые связывают колебательную систему с акустически неподвижными частями установки, предъявляется ряд требований, таких как достаточная жесткость и прочность, акустическая изоляция от неподвижных частей установки, минимальные потери энергии.

Учитывая вышеизложенное, расчет размеров волновода-концентратора требует учёта множества факторов. Для обеспечения максимальной амплитуды сдвиговых колебаний на рабочей поверхности излучателя в заданных условиях проведено моделирование и расчет волновода для использования в аддитивном производстве по технологии UAM.

Исследование модели излучателя было проведено в частотной области с использованием физического модуля механики твёрдого тела (Solid Mechanics) в программном обеспечении Comsol Multiphysics.

Полученные на основе расчетов размеры волновода-концентратора представлены на рис. 1.

По полученным расчётным данным был изготовлен и испытан волновод-концентратор из стали 40Х.

Измерения амплитуды колебаний с помощью объект-микрометра (с ценой деления 1 мкм) показали, что амплитуда колебаний середины рабочей части

волновода-концентратора (ролика)  $\xi = 10$  мкм при расчётной величине  $\xi = 11,2$  мкм. Незначительное расхождение расчётных и экспериментальных значений обусловлены принятыми допущениями.

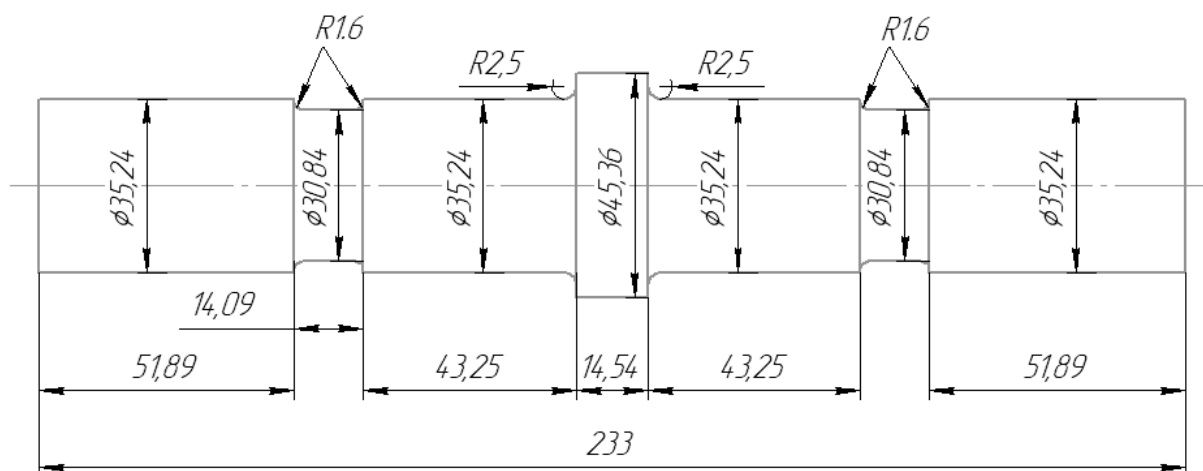


Рис. 1. Расчётные размеры волновода-концентратора

Амплитуда колебаний в местах закрепления излучателя отсутствует.

Проведённое моделирование рабочего инструмента для использования в аддитивном производстве по технологии УАМ позволило предложить метод расчёта ступенчатого волновода-концентратора, учитывающий особенности его работы. К особенностям работы отнесены: максимальная амплитуда колебаний на рабочей поверхности излучателя, направленная по касательной к поверхности свариваемых элементов, и отсутствие колебаний в местах закрепления. Разработанная модель расчёта учитывает материал волновода и резонансную частоту источника колебаний.

*Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-19-00463 (<https://rscf.ru/project/24-19-00463>).*

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Patent USA 2011/0220292A1, B29C65/08, B32B37/06. Ultrasound Additive Manufacturing Technology : publ. date 2011.
2. **Masurtschak, S.** New concept to aid efficient fibre integration into metal matrices during ultrasonic consolidation / S. Masurtschak, R. J. Friel, R. A. Harris // Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture. – 2015. – № 231 (7). – P. 1105–1115.
3. Integrating Fiber Optic Strain Sensors into Metal Using Ultrasonic Additive Manufacturing / A. Hehr, M. Norfolk, Ju. Wenning [et al.] // Journal of the Minerals Metals & Materials Society. – 2018. – Vol. 70, № 3. – P. 315–320.