



Национальный
исследовательский

**Томский
государственный
университет**



**Радиофизический
факультет**



**8-я Международная научно-практическая конференция
Актуальные проблемы радиофизики
АПР 2019**

Сборник трудов конференции



**РОССИЙСКИЙ ФОНД
ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ**

**1-4 октября 2019 года
г. Томск**

Ультразвуковой режущий инструмент с цифровым управлением

Суханов Дмитрий Яковлевич

Мукунов Тимур Рамильевич, Кузьменко Иван Юрьевич, Завьялова Ксения Владимировна, Кузовава Анжела Евгеньевна, Росляков Сергей Николаевич
Томский государственный университет
E-mail: sdy@mail.tsu.ru

Ультразвуковые хирургические инструменты имеют различные конструкции в зависимости от назначения и областей применения, однако они имеют общие узлы, которые можно рассматривать как базовую конструкцию [1-4]. Базовая конструкция либо незначительно модифицируется, либо снабжается различными насадками для каждого конкретного применения. Исходя из результатов обзора литературы и патентов по ультразвуковым хирургическим инструментам, были выявлены основные тенденции развития подобных устройств, определены основные элементы конструкции и их назначение. Вместе с этим, на основе физических представлений об акустических процессах в твёрдых телах, авторами были определены основные необходимые элементы конструкции ультразвукового хирургического инструмента.

Была разработана базовая конструкция ультразвукового хирургического инструмента и определены основные элементы конструкции (рис. 1). Инструмент состоит из 5-ти основных частей: отражатель длиной L и диаметром D_1 ; блок кольцевых пьезоэлектрических преобразователей (пьезопакет подключен по схеме элемента Ланжевена [5]) длиной U и диаметром D_1 ; четвертьволновой участок волновода длиной H_1 и диаметром D_1 ; участок волновода длиной H_2 и диаметром D_2 (несъемная часть волновода) до места крепления насадки; насадка (съемная часть волновода) длиной H_3+H_4 с плавным сужающимся переходом к рабочей части на интервале H_3 с переменным диаметром, описываемым формулой $D = D_3 + 0.5 \cdot (D_2 - D_3) (1 + \cos(2\pi x / H_3))$, где x отсчитывается от начала участка H_3 . Вся конструкция соединена с помощью стягивающего болта. Длина H_2 подбирается так, чтобы в области крепления болта и насадки был минимум стоячей волны для обеспечения наименьшего износа точки крепления. Конструкция стянута болтом в точках наименьшего сдвига, а части волновода контактирует в условиях наименьшего напряжения, что обеспечивает устойчивость конструкции и наиболее эффективную передачу механической энергии в волноводе. Плавный переход косинус-подобной формы позволяет избежать появления острых углов в волноводе и минимизировать отражение волн от перехода. Стягивание болта обеспечивает устойчивую к разрушению конструкцию волновода, обеспечивающую эффективную передачу энергии от генератора к обрабатываемой ткани с минимизацией перегрева инструмента.

Устройство работает следующим образом: на сборку пьезоэлементов подаётся гармонический сигнал с частотой равной резонансной частоте системы. Под действием внешнего напряжения сборка пьезоэлементов начинает сокращаться и расширяться, передавая механические колебания в систему металлического волновода и отражателя. Если частота сигнала совпадает с резонансной частотой механических колебаний, то происходит усиление колебаний рабочей части волновода. Плавный переход на участке H_3 обеспечивает дополнительное усиление продольных колебаний приблизительно в $(D_2 / D_3)^2$ раз. Четвертьволновой отражатель позволяет направить энергию колебаний в рабочую часть волновода. Стягивающий болт шляпкой удерживает неподвижный край отражателя, а резьбовым соединением удерживает насадку. Причём область резьбового соединения находится в узле стоячих волн сдвига в рабочей части волновода. При этом съёмная часть волновода соединяется с несъёмной частью в области узла стоячих волн напряжения деформаций. Благодаря такому соединению стягивающего болта, он испытывает минимум деформаций при работе, а точка контакта съёмной части испытывает минимальные нагрузки от деформации материала. Материал и длина L отражателя влияют на спектр резонансных частот всей конструкции и должны быть подобраны так, чтобы максимизировать колебания рабочей части.

При изготовлении инструмента необходимо учитывать, что металлические заготовки одной марки, но из различных партий могут отличаться по своим акустическим свойствам. Скорость звука конкретного образца влияет на резонансную частоту инструмента. Необходима калибровка инструмента перед началом работы и определение фактического спектра резонансных частот.

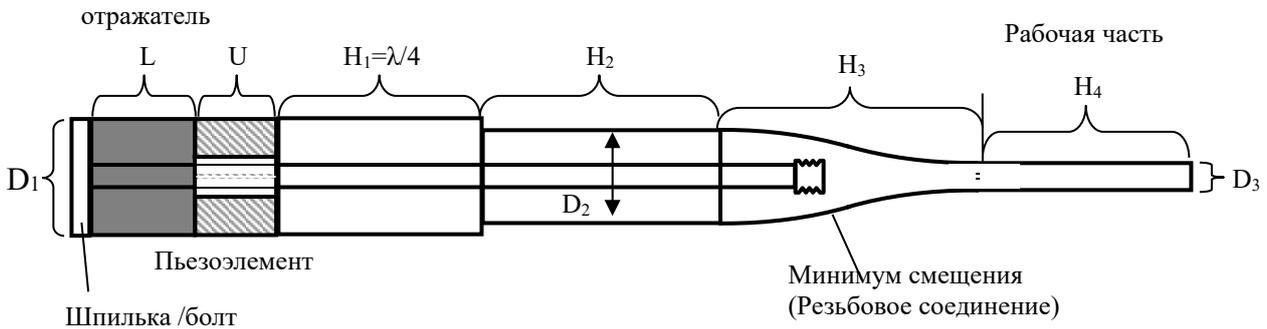


рис. 1 Схематическое изображение ультразвукового хирургического инструментов

Генератор мощного ультразвукового сигнала, подключаемый к инструменту необходимо настроить на резонансную частоту инструмента, либо ниже. Максимизация амплитуды напряжения свидетельствует о резонансных колебаниях в системе генератор-инструмент. Согласно схеме на рис.1 был изготовлении инструмент, в котором волноводная часть была выполнена из титана, а отражатель из нержавеющей стали. На частоте 36 кГц наблюдались резонансные колебания, а при погружении инструмента в воду эффект кавитации.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России в рамках проекта «Создание высокотехнологичного комплекса ультразвуковой хирургии» (Уникальный идентификатор проекта RFMEF157517X0163).

Список публикаций:

[1] Кичуци Е. Ультразвуковые преобразователи. – М.–Изд-во: Мир.– 1972. –424 с.
 [2] Агранат Б.А., Башкиров В.И., Китайгородский Ю.И., Хавский Н.Н. Ультразвуковая технология. – М.– «Металлургия».– 1974. –504 с.
 [3] Агранат Б.А., Дубровин М.Н., Хавский Н.Н., Эскин Г.И. Основы физики и техники ультразвука. – М.– Высш.шк. – 1987. – 352с.: ил.
 [4] Балдев Р., Раджендран В., Паланичами П. Применение ультразвука. – М.– «Техносфера».– 2006. – 576 с.
 [5] Jacques Lewiner. Paul Langevin and the Birth of Ultrasonics // The Japan Society of Applied Physics. Japanese Journal of Applied Physics. – 1991. – Vol. 30. – Supplement 30-1.– P. 5-11.
 [6] Amir Manbachi, Richard S C Cobbold. Development and Application of Piezoelectric Materials for Ultrasound Generation and Detection // Vol. 19. – issue: 4. – 2011.– pp 187-196.