

А.А. Константинова, И.В. Цивильский  
(г. Казань, Казанский национальный исследовательский технический  
университет им. А.Н. Туполева-КАИ)

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕРЕДАЧИ УЛЬТРАЗВУКА ЧЕРЕЗ ЖИДКУЮ СРЕДУ В ЗОНУ ЛАЗЕРНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ**

### **SIMULATION OF ULTRASOUND TRANSMISSION THROUGH A LIQUID MEDIUM INTO A LASER RADIATION ZONE**

*Рассматривается локализованный способ подвода ультразвука в зону лазерного воздействия. С помощью модели, созданной в программе Ansys Fluent, была изучена эффективность передачи ультразвуковых колебаний через жидкую прослойку в зону лазерного воздействия.*

*This article discusses a localized method of ultrasound transmission to the laser radiation zone. The efficiency of the transmission of ultrasonic vibrations through a liquid medium to the zone of laser action was studied using a model created in the Ansys Fluent program.*

*Ключевые слова: моделирование, ультразвук, ультразвуковые колебания, соноотрод, лазерное воздействие.*

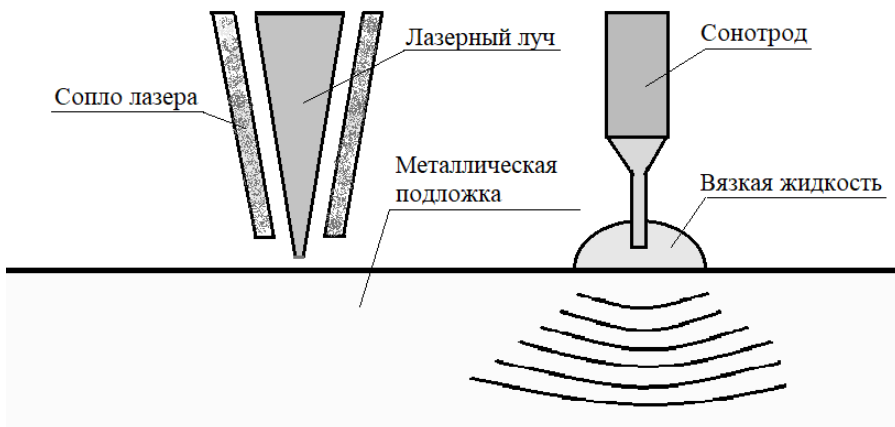
*Keywords: modeling, ultrasound, ultrasonic vibrations, sonotrode, laser radiation.*

В настоящее время ультразвуковые колебания активно используются в научных исследованиях, технике и промышленности благодаря их особенностям. Например, ультразвук можно использовать при лазерной наплавке, резке, сварке и других технологических процессах. При проведении данных работ подводят генератор ультразвука для получения более качественной продукции без дополнительных обработок. При этом наблюдается положительное влияние акустического высокочастотного воздействия на однородность и прочность сварного шва: акустические волны воздействуют на зону расплава и тем самым, снижается вязкость расплава, повышается его однородность, обеспечивается лучшее перемешивание при застывании, а также улучшаются прочностные характеристики [1].

При воздействии ультразвука на зону плавления металла при лазерной сварке большая часть газа в сварочном шве удаляется, что приводит к снижению или даже исключению дефектов шва. За счёт акустического воздействия и эффекта кавитации сварочное остаточное напряжение эффективно уменьшается или устраняется, а прочность и коррозионная стойкость соединения повышаются [2].

При выполнении лазерной сварки или наплавки можно по-разному подводить ультразвук. В данной работе ультразвук подводили локализовано, то есть когда соноотрод находится у подложки вблизи проведения лазерной

сварки. Во время технологического процесса генератор ультразвука перемещают в соответствии с движением лазера, при этом сонодод движется параллельно с соплом на некотором малом расстоянии. В данной технологии для эффективного воздействия ультразвука на лазерную сварку в качестве "передаточного" звена между металлической пластиной и наконечником сонодод используется вязкая плотная жидкость. Это может быть машинное масло, гель, глицерин и прочее [3]. Описанный способ схематически изображен на рис. 1.



*Рис. 1. Локальное действие ультразвука на технологический процесс*

Преимуществом такого способа является то, что ультразвук интенсивно воздействует на технологический процесс, а высокочастотные ультразвуковые колебания быстро достигают места проведения лазерной сварки, тем самым положительно влияют на качество шва.

Главным фактором в данном процессе является контроль расстояния от сонодод до поверхности металла, так как природа свариваемого материала и его толщина определяет затухание распространяющихся в нем ультразвуковых колебаний. Еще одним важным параметром является частота ультразвука, потому что избыточная интенсивность ультразвуковых колебаний приводит к дефектам сварного соединения и избыточного проплавления.

Для проверки эффективности передачи ультразвука в зону лазерного воздействия, необходимо исследовать распространение ультразвуковых колебаний вдоль подложки и вглубь от сонодод.

Проведена серия вычислительных экспериментов по определению эффективности передачи ультразвука к месту проведения лазерной сварки. Оценка воздействия ультразвука на обрабатываемую поверхность, распределение давления вблизи сонодод и вдоль подложки проводилась при помощи плоского наконечника сонодод. Для этого были созданы 4 расчёта,

в которых задается разное расстояние от поверхности сонотрода до подложки,  $d$ . Таким образом, установим оптимальное расстояние от сонотрода до металлической подложки при выполнении лазерной сварки.

Для моделирования ультразвуковых волн, созданных переменным акустическим давлением, на конце сонотрода задается уравнение синусоидальной волны (1) [4]:

$$P = P_A \cdot \sin(\omega \cdot t). \quad (1)$$

Данное уравнение (1) отражает периодические колебания переменного давления  $P$ . В уравнении (1) переменная  $P_A$  - это амплитудное значение акустического давления;  $\omega$  - циклическая частота колебаний;  $t$  - заданное время.

Входные параметры разработанной модели для плоского наконечника сонотрода указаны в табл. 1.

Таблица 1. Входные параметры модели

Номер расчёта	$P_A$ , Па	$\omega$ , рад/с	$d$ , м
1	$7 \cdot 10^6$	$94 \cdot 10^3$	$1,5 \cdot 10^{-3}$
2	$7 \cdot 10^6$	$94 \cdot 10^3$	$1 \cdot 10^{-3}$
3	$7 \cdot 10^6$	$94 \cdot 10^3$	$2 \cdot 10^{-3}$
4	$7 \cdot 10^6$	$94 \cdot 10^3$	$0,5 \cdot 10^{-3}$

Форма сонотрода – цилиндр. Диаметр сонотрода -  $5 \cdot 10^{-3}$  м.

Фрагмент результата моделирования распределения давления для плоского сонотрода с расстоянием  $d=0,0015$  м в момент времени 0,5 с показан на рис. 2.

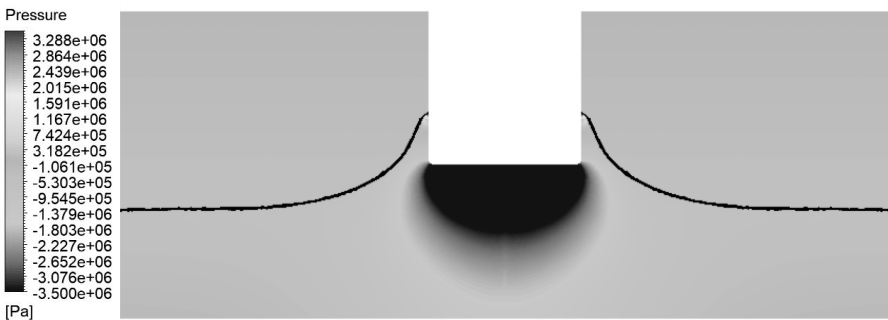


Рис. 2. Смоделированный процесс распространения переменного акустического давления в металлической подложке при  $A=7$  Мпа (Расчёт 1)

Полученные кривые распределения давления вглубь от сонотрода, для расчётов 1-4 представлены на рис. 3.

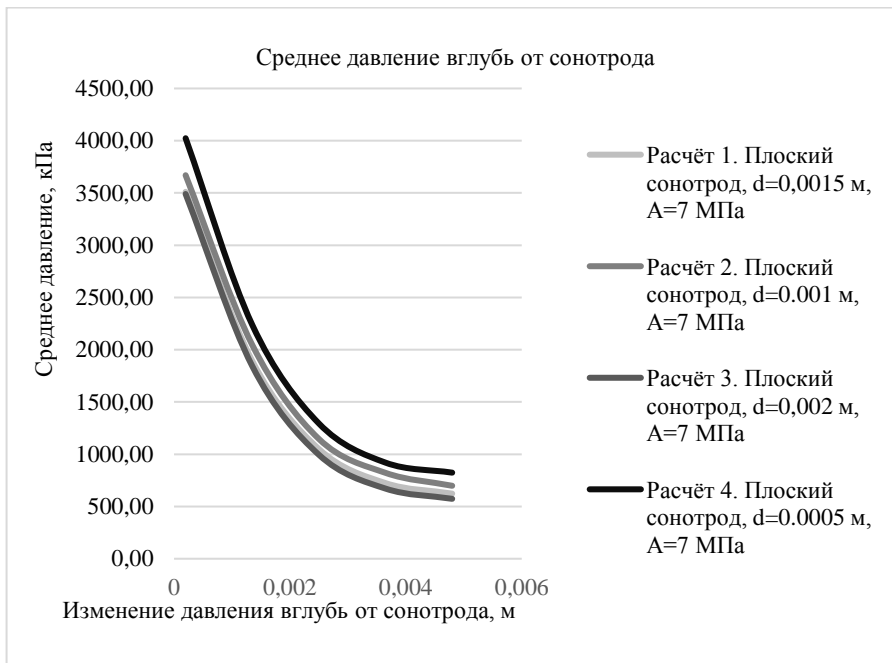
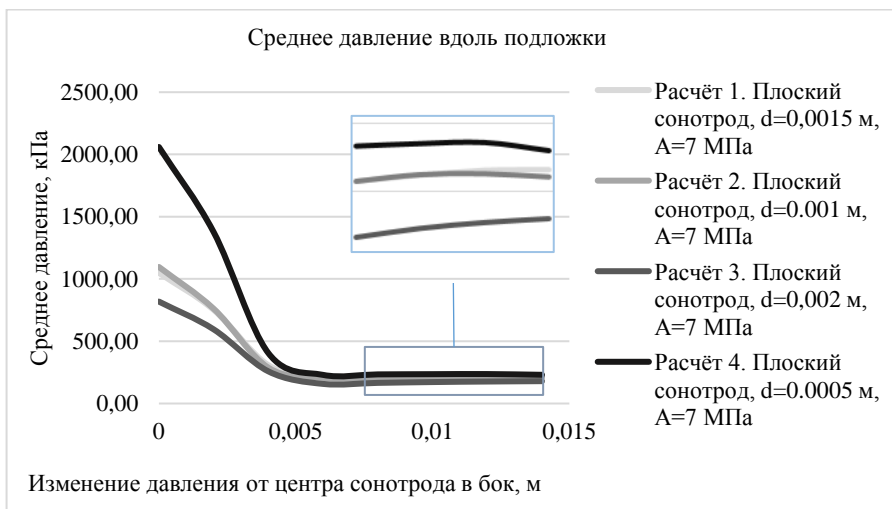


Рис. 3. Влияние расстояния от плоского наконечника до обрабатываемой поверхности на распределение давления под сонотродом

Как видно на рис. 3 максимальное давление достигается при плоском сонотроде, находящемся от подложки на расстоянии  $d=0,0005$  м. При увеличении расстояния от сонотрода до подложки среднее амплитудное значение переменного давления уменьшается, а значит уменьшается и эффективность передачи ультразвука в зону лазерного воздействия.

Полученные кривые распределения давления вдоль подложки, для расчётов 1-4 представлены на рис. 4.



*Рис. 4. Влияние расстояния от плоского наконечника до обрабатываемой поверхности на распределение давления вдоль подложки*

Сравнив расчёты 1-4, также получили, что при приближении соноотрода к обрабатываемой поверхности давление вдоль подложки увеличивается, а значит эффективность передачи ультразвука к месту проведения лазерной сварки или наплавки повышается.

Построенная модель распространения ультразвука в зоне контакта металла и соноотрода позволяет оценить акустическое давление, поступающее к месту воздействия лазерного луча и потенциально влияющее на перемешивание металла при застывании.

### Список литературы

1. Павлова, А.А. Расчёт массопереноса в результате кавитации, вызванной переменным акустическим давлением/ А.А. Павлова // XXIV Туполевские чтения (школа молодых ученых): Междунар. молодёжная науч. конф., 7–8 ноября 2019 г.: матер. конф.. Сб. докладов. – Казань, 2019. – Т 6. –С. 614-618.
2. Патент № 2704874, Российская Федерация, 2018. Способ гибридной лазерной сварки с ультразвуковым воздействием и устройство для его осуществления/ Калашников К.Н., Бахшаев В.А., Иванов А.Н., Рубцов В.Е., Воронцов А.В., Дмитриев А.В.
3. Павлова, А.А. Моделирование акустических волн в зоне контакта металла и соноотрода для лазерной сварки / Павлова А.А., Цивильский И.В. // I Всероссийская науч.-практ. конф. молодых авиаторов России, 29-30 ноября 2019 г.: материалы конференции. – Казань: Изд-во КНИТУ-КАИ, 2019. – С. 234-237.
4. Хамидуллин, Б.А. Математическое моделирование акустических течений вблизи ультразвукового соноотрода / Хамидуллин Б.А., Цивильский И.В., Гильмутдинов А.Х. // Вестник КГТУ им. А.Н. Туполева (2019). – Т 75. – № 2. – С. 22 – 27.

*Материал поступил в редколлегию 09.10.20.*