

Фатталова Динара Робертовна, магистрант 1 года обучения
Ижевск, Удмуртский государственный университет, институт математики, информационных технологий и физики

Исследование влияния теплофизической характеристики кавитационного пузырька на пороговые значения ультразвука в процессе 3D печати

Ломаев Степан Леонидович, к.ф.-м.н.

e-mail: w_c_b_and_a@bk.ru

стр. 195

Исследование влияния теплофизической характеристики кавитационного пузырька на пороговые значения ультразвука в процессе 3D печати

Фатталова Динара Робертовна¹

Ломаев Степан Леонидович²

¹*Удмуртский государственный университет*

²*Удмуртский федеральный исследовательский центр Уральского отделения РАН*

Ломаев Степан Леонидович, к.ф.-м.н.

w_c_b_and_a@bk.ru

Управление размерами зернистой структуры металлов - одна из ключевых задач в области металлургии. Один из способов управления структурой - воздействие ультразвука в процессе кристаллизации. Данная технология активно внедряется в литейное дело и позволяет улучшить качество швов при сварке. В настоящее время ведутся активные исследования и разработки внедрения данной технологии в сферу аддитивного производства, иначе - 3D-печати. [1]

Одна из гипотез, объясняющих измельчение зеренной структуры металла при воздействии ультразвуковой волны - ультразвуковая кавитация [2]. Под действием растягивающих давлений жидкость разрывается и образуется парогазовый пузырек. При наступлении сужающего давления кавитационный пузырек сжимается и схлопывается. При схлопывании локально возрастают давление и температура, и, если схлопывание произошло вблизи кристаллизующегося металла, зерно разбивается на более мелкое.

Динамику поведения парогазового пузырька в сферическом приближении описывает формула Нолтинга-Неппайреса:

$$R\ddot{R} + \frac{3}{2}\dot{R}^2 = \frac{1}{\rho} \left(\left(P_h + \frac{2\sigma}{R_e} - P_v \right) \left(\frac{R_e}{R} \right)^{3\gamma} - \frac{2\sigma}{R} - 4\eta \frac{\dot{R}}{R} - (P_h - P_a (-\sin \omega_a t)) \right) \quad (1)$$

где R - радиус пузырька, R_e - радиус пузырька без воздействия ультразвука, γ - показатель политропы, P_h - давление насыщенных паров, P_a - амплитуда акустического давления, P_v - статическое давление в жидкости, ω_a - акустическая угловая частота.

Существует два режима схлопывания - резонансный и безрезонансный. Для первого случая существует частота УЗ, при которой давление, оказываемое ультразвуком, существенно меньше, чем в случае, где резонанса нет. В зависимости от состава пузырька, процесс, проходящий над ним, различен, следовательно, показатель политропы в различных ситуациях разнится. Возникает вопрос о влиянии показателя политропы на такие пороговые характеристики, как акустическое давление и частота ультразвука, необходимых для схлопывания кавитационных пузырьков.

Расчеты проводились для пузырьков, радиусы которых равны 10^{-5} м, 10^{-6} м и 10^{-7} м. Изменение радиуса с течением времени представлены на *рис. 1*.

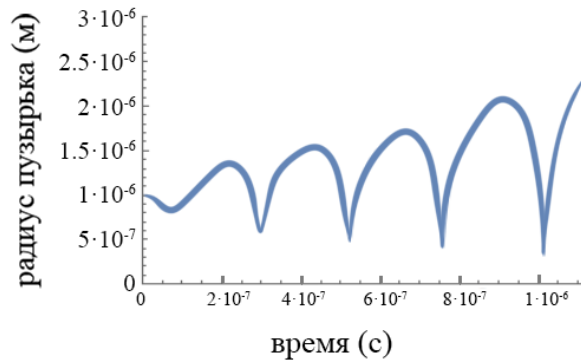


рис.1. Изменение радиуса кавитационного пузырька с течением времени в резонансном режиме

На рис. 2 представлены зависимости акустического давления и частоты от показателя политропы для пузырька с радиусом 10^{-6} м в резонансном режиме.

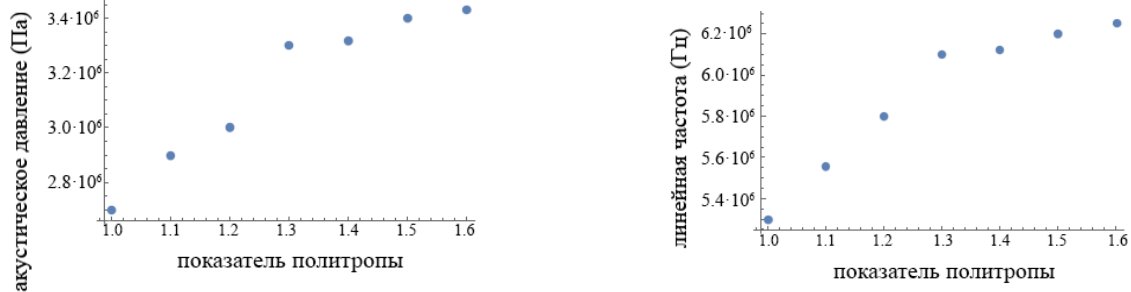


рис.2. Зависимость акустического давления (а) и линейной частоты УЗ (б) от показателя политропы в резонансном режиме

Анализируя рисунки, можно сделать вывод, что при росте показателя политропы увеличиваются и пороговые характеристики акустического давления и частоты УЗ, необходимого для схлопывания кавитационных пузырьков. Похожие результаты получены и для пузырьков с радиусами 10^{-5} м и 10^{-7} м. Пороговые значения ультразвука, необходимые для активации кавитации (для пузырьков, радиус которых 10^{-6} м): частота УЗ $\approx 3.8 \cdot 10^6$ Гц, акустическое давление $\approx 1.1 \cdot 10^6$ Па.

При изменении показателя политропы, связанного прежде всего с химическим составом пузырька, значения пороговых характеристик УЗ увеличиваются примерно в два раза. Отсюда можно сделать вывод: при подаче УЗ в процессе печати необходимо учитывать теплофизический фактор в виде показателя политропы.

Список публикаций:

- [1] Ivanov I. A. et al. Effect of laser-induced ultrasound treatment on material structure in laser surface treatment for selective laser melting applications //Scientific Reports. - 2021. - Т. 11. - №. 1. - С. 23501.
- [2] Todaro C. J. et al. Grain structure control during metal 3D printing by high-intensity ultrasound //Nature communications. – 2020. – Т. 11. – №. 1. – С. 1-9.