

РАЗРАБОТКА ОСНОВ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ С БАКТЕРИЦИДНЫМ НАНОПОКРЫТИЕМ

Абрамова А.*; Геданкен А.**; Попов В.***; Оои Е-Х.***

*) ООО «Buatex». Москва, Россия

**) Bar-Ilan University, Рамат ганн. Израиль

***) Wessex Institute of technology, Вессекс. Великобритания

В настоящее время много внимания уделяется проблеме внутрибольничных инфекций, так как именно они являются причиной смерти 3 миллионов человек ежегодно [1]. Одним из методов профилактики вышеупомянутых заболеваний является внедрение в госпитали антибактериальных текстильных материалов, которые могут быть получены, если в волокна обычного тканевого материала внедрить антибактериальные наночастицы, например, оксида цинка или меди, которые обладают бактерицидными свойствами благодаря радикалам ОН, возникающим как результат дефекта в кристаллической структуре, что было доказано исследованиями, проведенными в университете Бар-Илан [2].

В случае мощного ультразвукового воздействия, когда порог кавитации превышен, наночастицы ускоряются быстро движущейся поверхностью кавитационного пузырька, динамика которого определяет основные характеристики процесса нанесения покрытия.

Вследствие асимметрии коллапса пузырька вблизи поверхности наночастицы выбрасываются в сторону нее с очень большими скоростями (>100 м сек⁻¹).

Для достижения целей задачи максимального кавитационного ускорения наночастиц (а именно скорость определяет глубину проникновения наночастиц в волокно) наибольший интерес представляет случай развитой кавитации, когда звуковое давление значительно превышает пороговый уровень $P_m \gg P_{пор}$.

Поскольку плотность и скорость звука определяются средой, то при конструировании сонохимического реактора для реализации описываемого процесса необходимо обеспечить оптимальную амплитуду колебаний, которая была бы достаточна для того, чтобы гарантировать необходимую глубину проникновения частицы в волокно. При этом необходимо максимально сконцентрировать энергию в области обрабатываемого полотна.

Для исследования процесса нанесения антибактериального нанопокрыва на текстиль был разработан сонохимический реактор для обработки материала шириной до 500 мм. Было проведено моделирование распределения амплитуд давлений (с помощью программного пакета COMSOL Multiphysics), которое позволило определить оптимальное расположение ткани между волноводами. При этом ультразвуковые колебания вводились в реактор посредством 4 магнестрикционных преобразователей, приваренных непосредственно к излучающим поверхностям (стальным пластинам прямоугольной формы), два из которых располагались над движущейся тканью, а два под ней.

Эскиз сонохимического реактора, который был взят за основу при моделировании, приведен на рис. 1. Общий вид магнестрикционных преобразователей с излучающей пластиной приведен на рис.2.

С помощью программы ANSYS была выполнена модель используемого мембранного преобразователя, была рассчитана форма колебаний данного преобразователя на частоте 19 кГц, которая и являлась рабочей частотой системы. В результате работы данной системы на поверхности волновода образовались затемнения, которые дают некое представление о форме колебаний данного объекта и подтверждают модель.

Основой для расчетов распределения амплитуд давлений послужило решение уравнения Гельмгольца, причем изменение скорости распространения волны в жидкости, насыщенной пузырьками учтено введением комплексной компоненты в волновое число k_m . При этом предполагалось, что радиус пузырька изменяется в интервале от 5 до 50 мкм, причем размер пузырька распределен по Гауссу.

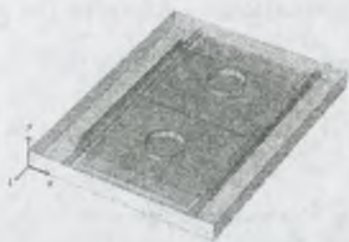


Рис. 1. Эскиз сонохимического реактора

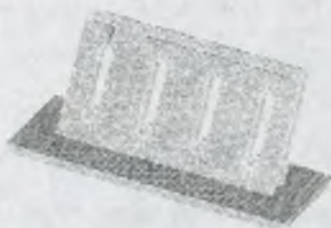


Рис. 2. Общий вид волноводной системы мембранного типа

По результатам моделирования (рис. 3) было определено оптимальное расположение обрабатываемой ткани между волноводами: наиболее равномерное распределение амплитуд колебаний наблюдалось в случае, когда ткань располагалась точно посередине между излучателями на расстоянии 10 мм от каждого из них. Именно этот вариант был реализован на практике.

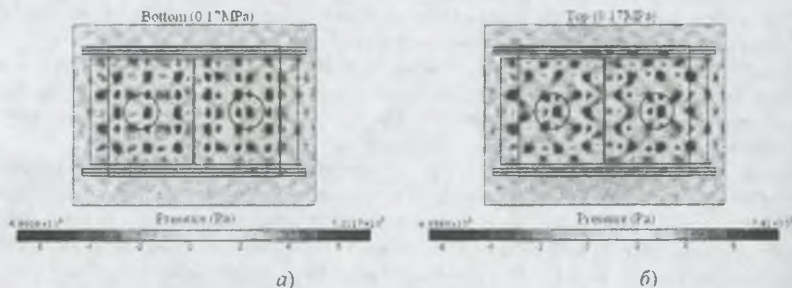


Рис. 3. Распределение амплитуд давления вдоль поверхностей обрабатываемого материала (результат моделирования) а) под тканью б) над тканью

Для проверки модели были проведены 2 серии экспериментов. В первой серии использовалась алюминиевая фольга. Кусочки фольги размерами 30*50 мм² помещались в зону воздействия между излучающими поверхностями стальных пластин, после чего с помощью весов определялась степень разрушения фольги в различных точках реактора. На рис. 4 приведено распределение амплитуд давлений, полученное с помощью моделирования и положение максимумов и минимумов амплитуд, определенное с помощью эксперимента.

Как видно абсолютный минимум интенсивности наблюдался в зоне 7, что полностью соответствует результатам моделирования. Как и ожидалось, в зонах 1 и 4 наблюдались локальные минимумы, зоны 2 и 3 при этом представляли собой локальные максимумы. Однако в целом в зонах 1-4 можно говорить о равномерности покрытия (колебания степени разрушения фольги незначительны). Абсолютный же максимум интенсивности ультразвуковых колебаний находился в зонах 5 и 6, что еще раз подтверждает модель. Аналогичные результаты были получены для перпендикулярного направления.

