

УДК 621.791.16

Разработка ультразвукового инструмента для акустической обработки полимерных материалов

Ф.С. Жижин, Д.Д. Закирова, Г.Ю. Рудковский, А.И. Бухмиллер, А.В. Бурлаков, Я.В. Букина, Липецкий А.С.

Омский государственный технический университет, г. Омск

Аннотация: В статье рассматривается разработка ультразвукового инструмента для акустической обработки полимерных материалов.

Ключевые слова: ультразвуковая обработка, полимерные материалы, ультразвук, акустическая обработка.

Повышение эффективности процесса акустической обработки в значительной степени достигается за счет предварительного моделирования ультразвуковых высокоамплитудных волноводных систем.

При разработке ультразвуковой волноводной системы для повышения эффективности акустической обработки, необходимо обеспечить выполнение следующих условий [1]:

1. Получение заданной амплитуды колебаний при сохранении требуемых геометрических параметров.
2. Сведение к минимуму потери энергии в элементах колебательной системы.
3. Предел выносливости материала для изготовления системы, должен превышать динамические напряжения в системе.

Соблюдение первого условия при проектировании волноводной системы накладывает ограничения по коэффициенту усиления K_y [2]:

$$K_y = A_{\text{вх}}/A_{\text{вых}}, \quad (1)$$

где $A_{\text{вх}}$ и $A_{\text{вых}}$ – входная и выходная амплитуда колебаний волновода. Необходимо учитывать, что увеличение коэффициента усиления вызывает рост динамических напряжений, возникающих в волноводе, и повышение потерь энергии в волноводной системе.

Важной характеристикой, которую стоит учитывать при расчете и конструировании ультразвуковой волноводной системы является рассеяние энергии в материале. Данная информация о параметрах рассеивания энергии в материале имеет самостоятельное значение как показатель качества материала, предназначенного для создания элементов акустической колебательной системы. Увеличение частоты и амплитуды вызывает повышение рассеяния энергии в материале, что в свою очередь приводит к накоплению внутренних напряжений и необратимых микрповреждений, которые являются причиной усталостного разрушения волноводной системы.

На потери энергии в частях колебательной системы влияют:

- структура материала, из которого они изготовлены;
- конструкция акустической колебательной системы;
- качество соединения элементов между собой;
- качество изготовления колебательной системы в целом.

Оценка соответствия пункту два требований может быть произведена с помощью коэффициента δ , характеризующего отношение максимальной колебательной скорости в теле, имеющем резонансную длину, к максимальным знакопеременным деформациям при заданном коэффициенте усиления по амплитуде смещения [2]:

$$\delta = \frac{1}{c} \cdot \frac{x_{max}}{e_{max}}, \quad (2)$$

Чем больше величина δ , тем большую колебательную скорость можно получить при меньших значениях деформаций, т. е. коэффициент δ в каждом конкретном случае косвенно определяет потери энергии ультразвуковых колебаний в материале, прочность и долговечность колебательной системы [2].

Поглощение передаваемой энергии материалом объясняется, в основном, потерями на внутреннее трение, а величина затухания зависит от прочности и упругих свойств материала, его структурно-химического состава. Установлено, что материал, предназначенный для изготовления волноводов, должен обладать хорошими упругими свойствами, низким декрементом затухания и высокой усталостной прочностью. К таким материалам относятся высокоуглеродистые инструментальные стали типа У8А, У10А и легированные – 40Х, 40Х13, 30ХГСА и другие. Наиболее малым коэффициентом потерь обладают титановые сплавы марок ВТ3-1 и ВТ16 .

Усталостную прочность и структурную однородность можно повысить термической обработкой. Титановые сплавы в основном подвергают отжигу, закалке и старению, а также химико-термической обработке. Для высокоамплитудных волноводов наиболее приемлем изотермический отжиг. Отжиг титановых сплавов выравнивает структуру и фазовый состав, повышает пластичность, а также снимает внутренние напряжения, возникающие в волноводе после механической обработки.[4]

Еще одним крайне важным фактором при создании ультразвукового инструмента является качество его изготовления, а именно мест соединения отдельных звеньев друг с другом. От качества мест соединения напрямую зависит работоспособность системы в целом. Существуют разные методы достижения надежного акустического контакта и жесткости между отдельными звеньями. К таким методам относится пайка элементов друг с другом, применение прессовых насадок для неразъемных колебательных систем, а также применение резьбовых соединений для создания разъемных акустических систем. Места соединений должны быть тщательно пригнаны друг к другу по всей плоскости контакта путем шлифовки и последующей притирки.

Наибольшая сложность при проектировании высокоамплитудного инструмента для акустической обработки состоит в необходимости удовлетворить третьему пункту требований, т.е. динамические напряжения в системе не должны превышать предела выносливости материала, из которого она изготовлена.

Ультразвуковой волновод-инструмент представляет собой прямой единый стержень (рис. 1) или состоящий из отдельных частей, с определенным изменением площади поперечного сечения по его оси и совершающий продольные колебания. Как правило, волновод-инструмент изготавливают из однородного материала.

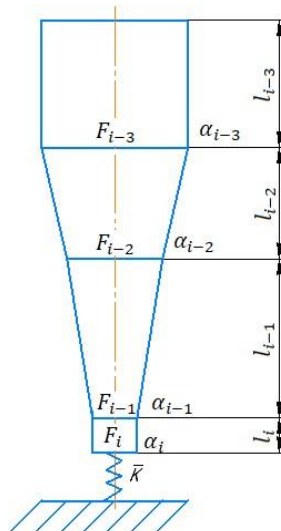


Рисунок 1 – Ультразвуковой инструмент для акустической обработки полимерных материалов

Для конкретной волноводной системы расчет велся путем пошагового перехода от звеньев системы - с индексом $i-3$, к последнему звену – с индексом i (рис. 1).

Нахождение минимума функции $\sigma_{i\alpha\delta}$ и являлось задачей частной математической оптимизации геометрии волноводной системы из условия.

$$\sigma_{max} \leq \sigma_{-1}$$

Эта задача была решена благодаря использованию комбинированных волноводов (рис. 1) с возможностью задачи диапазонов варьирования геометрических параметров и физических свойств.

Полученная в результате исследований форма высокоамплитудной волноводной системы позволяет ее использовать и гарантировать эффективную, устойчивую и долговечную работу ультразвуковой установки для акустической обработки изделий из полипропилена.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Марков А. И. Ультразвуковая обработка материалов. М.: Машиностроение, 1988. – 221с.

2. Шустер Я.Б., Браиловский В.И. Расчет инструмента для ультразвуковой пробивки неметаллических материалов // Вестник машиностроения. М.: Машиностроение, 1987. – С. 56-60
3. Коновалов Е.Г., Дроздов В.М., Тявловский М.Д. Динамическая прочность металлов. Минск.: Наука и техника, 1969, - 304с.
4. Глазунов С.Г. , Моисеев В.Н. Конструкционные титановые сплавы. М.: Metallurgy, 1974. – 368 с.