

УДК 621.7

**КРЕПЛЕНИЕ НЕЖЕСТКИХ ДЕТАЛЕЙ
В ПРОЦЕССЕ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ**

*д-р техн. наук, проф. Е.В. КОРОБКО, В.А. БИЛЫК, А.О. КОРОБКО, М.И. МАРДОСЕВИЧ
(Институт тепло- и массообмена им. А.В. Лыкова НАН Беларуси, Минск),
канд. техн. наук, доц. В.А. БАСИНЮК, канд. техн. наук Е.И. МАРДОСЕВИЧ
(Институт механики и надежности машин НАН Беларуси, Минск)*

Исследования электрореологических крепежных устройств показали, что основная проблема их эффективного использования сводится к получению максимальных сил притяжения детали к подложке за счет характеристик электрореологических жидкостей. На их величину влияют такие факторы, как состояние поверхности основания, выбор диэлектрического покрытия, электроструктурные свойства электрореологических жидкостей, внешние параметры, конструктивные особенности электрореологических крепежных устройств. Экспериментальные работы подтвердили, что управляемость «интеллектуальных» материалов электрореологических жидкостей может быть использована применительно к задачам электрореологических крепежных зажимных устройств. Применение таких креплений с электрореологическими жидкостями позволяет создавать удерживающую силу, распределенную равномерно по всей поверхности, что дает возможность закреплять небольшие изделия независимо от их положения на поверхности зажимного устройства и наличия в них перфорации.

Введение. В современном производстве разработка и изготовление специальной станочной оснастки и приспособлений, в частности для механообработки, остается одной из актуальных задач. Их проектирование и изготовление составляет нередко 30 % трудоемкости и 90 % длительности технологической подготовки процесса обработки [1]. В отечественной и зарубежной практике используются различные зажимные устройства и приспособления: гидравлические, вакуумные, магнитные, механические, электрические. В электрореологических крепежных устройствах (ЭКУ) энергия электрического поля непосредственно преобразуется в механическую силу притяжения и они лишены большинства недостатков [2].

Использование электрореологических жидкостей (ЭРЖ) в элементах ЭКУ для монолитных изделий позволило расширить функциональные возможности последних и улучшить их основные показатели. Фиксирующая способность такой электрочувствительной композиции основана на структурном эффекте. Впервые В. Винслоу установил, что две металлические пластины, разделенные диэлектрической жидкостью (ЭРЖ), будут действовать как единое целое до тех пор, пока между ними существует разность потенциалов определенной величины [3].

Последующие исследовательские работы по изучению характеристик ЭРКУ для плоских монолитных деталей показали, что основная проблема эффективного использования ЭРКУ сводится к получению максимальных сил притяжения детали к подложке за счет характеристик ЭРЖ. На их величину влияют такие факторы, как состояние поверхности основания, выбор диэлектрического покрытия, электроструктурные свойства ЭРЖ, внешние параметры (температура, вибровоздействия, влажность, СОЖ), конструктивные особенности ЭРКУ [2].

Постановка задачи. В отличие от рассмотренных ранее условий обработки монолитных деталей, задача обработки тонкостенных нежестких изделий (оболочковые конструкции, резервуары различных типов, панели и др.) требует учета податливости промежуточных звеньев СПИД (станок - приспособление - инструмент - деталь) и их чувствительности к упругим деформациям и вибрациям.

Наиболее распространенная схема обработки нежесткой оболочки, подкрепленной по торцам ребрами жесткости (рис. 1), включает в себя:

- фиксирование нижнего ребра жесткости на планшайбе карусельного станка;
- фиксирование локальным образом верхнего ребра жесткости зажимными механизмами стоек-опор за конструктивные элементы оболочки либо за технологические отверстия в верхнем ребре жесткости;
- обработку верхнего ребра жесткости резцом;
- обработку нижнего ребра жесткости при смене положения оболочки (закрепляется на планшайбе обработанное верхнее ребро).

Если дополнительное состояние, связанное с локальным закреплением за конструктивные элементы оболочки, и вибрации различного происхождения можно снять изменением конструкции зажимных устройств и применением виброгасителей, устранив тем самым погрешности, вносимые извне, то внутреннюю погрешность системы «ребро жесткости - нежесткая оболочка», возникающую за счет нежесткости (гибкости) оболочки, устранить традиционными способами не представляется возможным; сложность в том, что боковая поверхность нежесткой оболочки несет, как правило, присоединенные массы и

дополнительные жесткости. Кроме того, конструктивно возможны вырезы боковой поверхности оболочки (фланцы, люки).

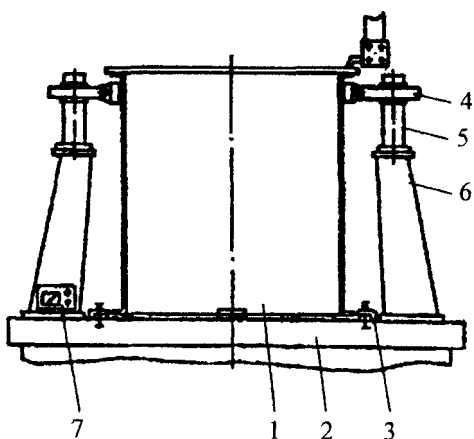


Рис. 1. Схема крепления жесткой оболочковой конструкции на планшайбе карусельного станка:
1 - деталь; 2 - планшайба; 3 - крепеж;
4 - ЭР-фиксирующие узлы; 5 - корпус; 6 - опоры;
7 - источник высокого напряжения

Целью проведенной работы является попытка использовать уникальные свойства ЭРЖ для «мягкого» закрепления нежестких податливых деталей при их механической обработке.

Моделирование. Провести качественный анализ связи режимов резания с жесткостными параметрами гибкой оболочки позволяет наиболее простая для описанного случая математическая модель [4].

Заменим действие гибкой оболочки коэффициентом сопротивления упругого основания (Фусса - Винклера).

Модель упругого основания обеспечивается двумя допущениями:

- основание считается упругим и двусторонним с возможным возникновением вертикальных реакций обоих направлений;
- реакция основания (оболочки) на силовое воздействие оказывается пропорциональной вертикальным перемещениям.

Будем моделировать дугу ребра жесткости между стойками-опорами прямолинейным стержнем эквивалентной длины. Влиянием кривизны ребра пренебрегаем. Уравнение вертикальных колебаний ребра, лежащего на упругом основании, под действием подвижной нагрузки совместно с начальными и граничными условиями имеет вид [5]:

$$E^* J \frac{\partial^4 W(x,t)}{\partial x^4} + cw(x,\tau) + m \frac{\partial^2 W(x,t)}{\partial \tau^2} = P\delta(x-Vt), \quad (1)$$

где $E^* J$ – изгибная жесткость обрабатываемого ребра жесткости; m – масса единицы длины ребра; W – прогиб обрабатываемого ребра; $\delta(x-Vt)$ – дельта-функция Дирака.

Начальные условия примем нулевыми:

$$W(x,0) = \frac{\partial W(x,0)}{\partial t} = 0. \quad (2)$$

Граничные условия:

$$W(0,t) = W(l,t) = 0; \quad (3)$$

$$\frac{\partial^2 W(0,\tau)}{\partial x^2} = \varphi_1(\tau) \frac{1}{E^* J}; \quad (4)$$

$$\frac{\partial^2 W(l,\tau)}{\partial x^2} = \varphi_2(\tau) \frac{1}{E^* J}.$$

В электрореологической суспензии (ЭРС) структурные образования мостикового типа обладают упругостью и прочностью. В динамических условиях [6] время существования каждого мостика может меняться. Таким образом, устройство закрепления на основе ЭРЭ при значительных периодических нагрузках не представляет собой «монолит».

Предположим, что устройство закрепления на основе ЭРЭ имеет малый поворот относительно первоначального положения ребра жесткости. В уравнениях (4), (5) $\varphi_1(\tau)$ и $\varphi_2(\tau)$ – моменты, компенсирующие возможные малые повороты устройства закрепления.

Решая задачу (1) – (5) методами интегральных преобразований, получим

$$W(x,t) = \frac{2}{\pi} \sum_{p=1}^{\infty} A_p \sin \omega_{1,p} t + B_p \sin \omega_{2,p} t + \frac{P}{EJ_m} \left(\frac{1}{\pi} \right) \frac{1}{\omega_{1,p}} \times \\ \times S[(-1)^p \omega_{2,p}(\eta)] \sin \omega_{1,p}(t-\eta) d \frac{\sin \pi x}{l} p \quad (6)$$

$$A_p = \frac{p}{m(\pi/l)^2 pV} \frac{1}{\left\{ \left[\frac{EJ}{m} \left(\frac{\pi}{l} p \right)^4 + \frac{c}{m} \right] - \left(\frac{\pi}{l} pV \right)^2 \right\} \sqrt{\frac{E^* J}{m} \left(\frac{\pi}{l} p \right)^4 + \frac{c}{m}}}; \quad (7)$$

$$B_p = \frac{p}{m(\pi/l)} \frac{1}{\left\{ \left[\frac{EJ}{m} \left(\frac{\pi}{l} p \right)^4 + \frac{c}{m} \right] - \left(\frac{\pi}{l} pV \right)^2 \right\}}; \quad (8)$$

$$W_{1,p} = \sqrt{\frac{E^* J}{m} \left(\frac{\pi}{l} p \right)^4 + \frac{c}{m}}, \quad W_{2,p} = p \frac{\pi}{l} V. \quad (9)$$

Очевидно, что условие резонанса дает

$$V = \frac{1}{\pi p} \sqrt{\frac{E^* p}{m} \left(\frac{p\pi}{l} \right)^4 + \frac{c}{m}}, \quad (p = 1, 2, 3, \dots). \quad (10)$$

Отсюда, естественно, следует ограничение на скорость движения резца:

$$V_p < V < V_{p+1}, \quad V_0 = 0. \quad (11)$$

В практике используются преимущественно круговые оболочки. Естественно, можно усложнить модель, приблизив ее к натуральному контуру в плоскости обрабатываемого ребра жесткости, представляя контур кусочно-линейной аппроксимацией. Данное усложнение позволит применить метод начальных параметров [7], причем различные длины участков аппроксимации позволят ввести и различные коэффициенты Фусса – Винклера.

Этот факт приблизит модель к реальным переменным жесткостям гибкой оболочки. Кроме того, будет возможно ввести характеристики опор и считать их управляющими параметрами физического процесса колебаний ребра жесткости.

Подобная логика развития задачи позволяет рассматривать электрореологические фиксирующие устройства как управляющие.

К примеру, для задачи (1) – (5) компенсирующие постоянные моменты $\varphi_1 = \varphi_2 = M = \text{const}$ можно выбрать из условия

$$\max_{xt} \left| \frac{\partial W(x,t)}{\partial x} \right| = 0 \quad (12)$$

для всех $t < t_1$ (t_1 – некоторое характерное время процесса колебаний; $\partial W(x_1, t)$ – угол поворота оси ребра жесткости). Время t_1 можно положить равным l_1/v , где l_1 – длина опорного участка. В общем случае $M = M(E)$, где E – напряженность поля.

В связи с вышесказанным, условие (12) позволит моментам φ_1 и φ_2 «успокоить» обработанный участок (например, за время движения резца по участку ребра жесткости, поддерживаемому электрореологической опорой).

Возможность повышения точности обработки торцов тонкостенных конструкций была экспериментально проверена на установке, приведенной на рис. 1.

Эксперимент. Обрабатываемая конструкция (рис. 2) 1 представляет собой тонкостенную оболочку вращения из алюминиевого сплава, соединенную по торцам с ребрами жесткости из профиля 100-17.

На ребрах жесткости смонтированы кольцевые накладки для проходов при обработке. Высота нежесткой конструкции – 1540 мм, диаметр оболочки – 2050 мм, толщина полотна – 4 мм. Конструкция 1 закреплялась на планшайбе 2 карусельного станка планками 3. Электрореологические фиксирующие узлы 4 с нанесенной на опорную поверхность 60 %-ной диатомитовой ЭРС подводились к оболочке кон-

струкции 1 и закреплялись зажимами стоек 5, смонтированных на тумбах 6. Зажимы (рис. 2) представляют собой пакет электродов из алюминиевого сплава с прослойками из диэлектрических пластин. Его опорная поверхность обрабатывалась по контуру поверхности детали 1. Пакет закреплен в полости 6

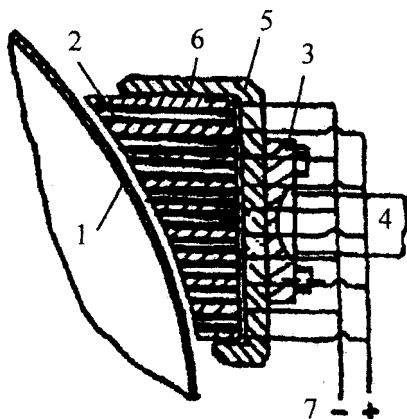


Рис. 2. Электрореологический фиксирующий узел для нежестких цилиндрических деталей:

- 1 - деталь; 2 - планшайба; 3 - крепеж;
4 - ЭР-фиксирующие узлы; 5 - корпус;
6 - опоры; 7 - источник высокого напряжения

металлического основания 5 с помощью эпоксидного компаунда 3, являющегося одновременно изолятором между металлическим основанием 5 и электродами 2. Высокое напряжение к электрореологическим фиксирующим узлам подавалось от источника питания 4, связанного средствами присоединения с сетью 220 В через коллектор. При подаче напряжения к фиксирующим узлам 4 эффективная жесткость ЭРС в зазоре между ЭКУ и конструкцией существенно возрастала, и деталь 1 фиксировалась в установке.

Отсутствие деформации тонкостенной конструкции 1 при закреплении и достигнутая неплоскостность ее торца контролировались индикатором, установленным в суппорт станка.

При проведении экспериментальной работы имело место повышение точности (неплоскостности) обработки торцов в 5...10 раз по сравнению с достигаемой в настоящее время точностью на средствах технологического оснащения, в которых для закрепления нежесткой конструкции используются ее конструктивные элементы.

Выводы

Теоретический анализ и результаты экспериментальной работы показали, что управляемость «интеллектуальных» материалов (ЭРЖ) может быть использована применительно к задачам электрореологических крепежных зажимных устройств, в частности для нежестких деталей при механической обработке их поверхностей. При этом регулирование удерживающей силы можно производить как при помощи электрического поля, так и при помощи создания специальных рецептур ЭРЖ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Коробко Е.В. Электроструктурированные (электрореологические) жидкости: Особенности гидромеханики и возможности использования. - Мн.: АНК «ИТМО им. А.В. Лыкова», АНБ, 1996. - 189 с.
2. // Journal of Intelligent Material Systems and Structures / E.V. Korobko, M.M. Ragotner, R.G. Gorodkin, I.V. Bukovich. - 1991. - V 2, № 2. - P. 215 - 227.
3. US Patent, 3047507. Field Responsive Force Transmitting Compositions / Winslow W.M. - 1962.
4. Масаковский В.И. Контактные задачи теории оболочек и стержней. - М.: Машиностроение, 1988. - 136 с.
5. Власов В.З., Леонтьев И.Н. Балки, плиты и оболочки на упругом основании. - М.: Физматгиз, 1960. - 136 с.
6. Гордон Р.Г., Глеб В.К., Коробко Е.В. Влияние вибраций на сдвиговое течение ЭПС в плоском канале-конденсаторе // Новое в реологии полимеров. - Мн.: Изд-во АН БССР, 1981. - Ч. 2. - С. 131-135.
7. Ивович В.А. Переходные матрицы в динамике упругих систем. - М.: Машиностроение, 1981. - 193 с.