

ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ВЫДВИЖНЫХ УПРУГИХ
ЭЛЕМЕНТОВ

Шкурупий В.Г., Шкурупий Ю.В.

(г.Харьков, Украина)

In work displayed particularities of processing the surfaces of specifically fine spring details.

Выдвижные упругие элементы космических летательных аппаратов (КЛА) относят к особо тонкостенным оболочкам. Требования к обработке поверхностей очень высокие. Упругие и оптические свойства их обеспечиваются термической, абразивной и электрохимической обработкой, вакуумным напылением.

Технология изготовления упругих элементов разрабатывалась применительно к изделиям из современных материалов (сплав марки БрБНГ 1,7, БрБНГ 1,9 и др.). Для проведения экспериментальных исследований потребовалась разработка специального оборудования и оснастки [1,3,4].

В процессе формообразования и термической обработки упругих элементов происходит изменение физико-механических характеристик их материала, возникает необходимость поиска компромиссного решения между прочностью и пластичностью.

Испытания образцов из ленты БрБНГ 1,7 с различной температурой и продолжительностью отпуска позволили оценить микротвердость, релаксацию напряжений, количество изгибов ленты (на 180° до разрушения).

Учитывая результаты испытаний, а также исследований механических и упругих характеристик нами был рекомендован следующий режим термической обработки выдвижных упругих элементов: температура нагрева 630К, скорость продвижения ленты $0,75 \cdot 10^3$ м/с (соответствует продолжительности отпуска 40 мин.).

При термической обработке пружинной ленты из медно-бериллиевых сплавов происходит обеднение поверхностного слоя легирующими элементами, что приводит к изменению химического состава материала, упругих и оптических свойств. Учитывая это, термическую обработку осуществляли на специальном оборудовании с применением защитной атмосферы.

При абразивной обработке особо тонкостенных заготовок с незамкнутым сечением может произойти потеря устойчивости пружинной ленты при действии возникающих в процессе обработки сил. При обработке

по планетарной схеме [1], возникающие силы закручивают заготовку незамкнутого кольцевого сечения, упругий элемент испытывает деформации от продольных удлинений (результат действия продольных нормальных напряжений). При этом происходит поворот сечений. Трубчатую заготовку разворачивают в рабочей зоне с помощью оправки до соприкосновения кромок. Условия закрепления заготовки при абразивной обработке на оправке в той или иной мере затрудняют торцовые деформации сечений, что увеличивает жесткость пружинной ленты.

Нами рассмотрено кручение тонкостенной трубчатой заготовки с незамкнутым сечением при нагружении крутящим моментом на одном торце и разных условиях закрепления. С учетом полученных результатов формулы для определения жесткости можно представить в виде:

$$C_1 = \frac{1}{3} G b s^3; \quad C_2 = \frac{\frac{1}{3} G b s^3}{1 - \frac{thkl}{kl}}; \quad C_3 = \frac{\frac{1}{3} G b s^3}{1 - \frac{2}{kl} \frac{th}{2}}$$

При чистом кручении (C_1) жесткость трубчатой заготовки пропорциональна кубу толщины ленты и не зависит от радиуса сечения штанги, при стесненном кручении жесткость (C_2, C_3) уменьшается с увеличением радиуса и увеличивается с возрастанием толщины ленты.

В случае действия продольных сил при встречном шлифовании (полировании) может возникнуть явление закручивания. Вследствие этого становится возможным особый вид потери устойчивости, выражающихся в появлении закрученных или изогнуто закрученных форм равновесия [2].

Так как обработка заготовки осуществляется на оправке, то продольные силы от двух абразивных кругов (противоположно расположенных) передаются на трубчатую заготовку и проходят через нулевые секториальные точки. Считаем, что в этом случае внешняя бимоментная нагрузка отсутствует и опорные сечения заготовки, плоские до деформации, остаются плоскими и после деформации. Действие продольных сил выражается в передаче на заготовку осевой силы и изгибающих моментов. В поперечных сечениях возникают только нормальные напряжения, постоянные по длине.

Силу сжатия можно определить пользуясь формулами, описывающими изгибно-крутильную форму потери устойчивости.

$$P_1 = \frac{1}{2(1 - \frac{a_2^2}{r^2})} [P_y + P_w - \sqrt{(P_y + P_w)^2 - 4 P_y P_w (1 - \frac{a_2^2}{r^2})}]$$

$$P_1 = \frac{1}{2(1 - \frac{a_2^2}{r^2})} [P_y + P_w - \sqrt{(P_y + P_w)^2 + 4 P_y P_w (1 - \frac{a_2^2}{r^2})}]$$

где

$$P_x = \frac{n^2 \pi^2 E I_x}{l^2}$$

$$P_x = \frac{1}{r_x^2} \left(\frac{n^2 \pi^2 E I_x}{l^2} + G I_d \right)$$

Так как $P_1 < P_2$, то расчетное значение критической силы определяется как наименьшее из значений P_x и P_1 . Если $P_x < P_1$, то раньше возникает изгибная форма потери устойчивости (изгиб в плоскости симметрии); если же $P_x > P_1$, то раньше наступает изгибно-крутильная форма потери устойчивости (изгиб из плоскости симметрии, сопровождаемый закручиванием сечений). При изгибно-крутильной возмущенной форме равновесия заготовки центр поворота сечений не совпадает ни с условным центром тяжести сечения, ни с центром изгиба.

Для проверки на устойчивость и определение интервалов варьирования значений окружных скоростей и давления инструмента были рассмотрены заготовки из ленты $0,15 \times 50$ мм и $0,20 \times 50$ мм с радиусом кольцевого сечения 7, 12, 14 и 20 мм. (материал заготовки – сплав марки 36 НХТЮ).

Результаты вычисления критической продольной силы сжатия трубчатой заготовки действующей при обработке показывают, что при толщине ленты 0,15 мм величина силы сжатия не должна превышать 18 Н ($R=14$ мм) и 11 Н ($R=20$ мм) для заготовки $0,15 \times 50$ мм. Потеря устойчивости трубчатой заготовки происходит в изгибной форме.

Анализ напряженно-деформированного состояния тонкостенных трубчатых заготовок упругих элементов при разных видах нагрузки показал, что изгибная форма потери устойчивости наступает при радиусе заготовки больше 12 мм и для условий обработки на оправке радиусом 20 мм будет только изгибная форма. Сила сжатия трубчатой заготовки при обработке не должна превышать 20 Н при радиусе заготовки 12 мм. Эти результаты учитывались при назначении режимов обработки поверхностей трубчатых заготовок выдвигных упругих элементов.

В последнее время большое распространение получили полимер-абразивные технологические материалы. Обнаружен положительный эффект воздействия полимерных веществ, входящих в состав абразивных суспензий, на процесс абразивной обработки.

Для обеспечения отражательной способности обрабатываемых поверхностей выдвигных упругих элементов КИА нами предложен технологический состав, имеющий следующее соотношение компонентов, вес % [3]:

Алмазный микропорошок 5-8;

Поливинилацетатная дисперсия 5-7;

Вода остальное.

Состав готовят смешением компонентов. Поливинилацетатная дисперсия при оптимальном ее содержании в составе, обеспечивает фиксацию абразивных зерен в полировальнике, что способствует

повышению съема металла, а сглаживание микронеровностей приводит к увеличению ее светоотражательной способности. Оптимальное количество микропорошка определили способностью полировальника насыщаться абразивными зернами.

Для обеспечения равномерной обработки внешней поверхности длинномерных изделий типа труб нами было разработано и изготовлено устройство для электрохимической обработки [4], которое защищено авторским свидетельством. Устройство снабжено механизмом фиксации тампонов выполненным в виде соединенных пружин и пальцев.

Предлагаемое устройство состоит из тампонов, выполненных в виде прямоугольных обечаяк, держателя тампонов в виде тела вращения с центральной полостью, токопровода, включающего контактные кольца со щетками и шпильками, привода вращения держателя, системы подачи электролита. Держатель укреплен в подшипниках скольжения, обеспечивающими прохождение технологического тока через изделие.

Электролит поступает из верхнего бака через трубку в кольцевой канал держателя тампонов, достигает тампонов, затем сливается в нижний бак. Из нижнего бака электролит насосом подается в верхний бак. Уровень электролита и температура поддерживается системой управления.

Применение такой конструкции устройства для электрохимического полирования методом тампона обеспечивает равномерную обработку поверхности упругих элементов по всему периметру. В качестве материала тампона использовалась фторопластовая стружка и стеклоткань.

Поверхности заготовок из лент хромоникелевого сплава, обработанные с учетом этих рекомендаций, имеют интегральный коэффициент поглощения $0,4-0,38$, а из лент медно-бериллиевых сплавов — $0,18-0,20$. При этом высоты неровностей шероховатости поверхности уменьшаются до $R_a = 0,04$ мкм.

Список литературы:

1. Шкурулий В. Г. Особенности процессов финишной обработки светоотражательных поверхностей. Динамика элементов конструкций летательных аппаратов. Сборник научных трудов ХАИ 1985. - с. 111-121.
2. Бидерман В. Л. Механика тонкостенных конструкций. М., Машиностроение. 1977. - 488 с.
3. Дудко П.Д., Назаров Ю.Ф., Шкурулий В.Г. и др. Доводочный алмазно-абразивный состав. Авт. свид. №905256 от 15.02.82г.
4. Дудко П.Д., Назаров Ю.Ф., Стороженко Д.А., Шкурулий В.Г., Кирзунов О.С. Устройство для гальванической обработки изделий электроконтактным методом. Авт. свид. №478067 от 25.07.75г.