

УДК 669.715

## АНАЛИТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ВЕЛИЧИНЫ УПРУГОГО ПРУЖИНЕНИЯ ЗАГОТОВКИ ПРИ ФОРМООБРАЗОВАНИИ ОБТЯЖКОЙ ОБОЛОЧЕК ДВОЙНОЙ КРИВИЗНЫ

© Тиабашвили А.Т., Михеев В.А.

e-mail: tiabashvili94@mail.ru

*Самарский национальный исследовательский университет  
имени академика С.П. Королёва, г. Самара, Российская Федерация*

На сегодняшнее время процесс обтяжки находит широкое применение в производстве крупногабаритных обшивок летательных аппаратов (ЛА) одинарной и двойной кривизны. Обтяжка представляет собой процесс формоизменения листовой заготовки по обтяжному пуансону посредством приложения к ее краям растягивающих усилий с одновременным перемещением зажимных блоков обтяжного пресса. К обшивкам ЛА зачастую предъявляются повышенные требования, особенно по качеству внешней поверхности, по точности и форме обводов, получаемых в результате формообразующих операций [1]. Также высокие требования предъявляются и к прочности обшивок при действии нагрузок в определенных направлениях, аналогично изделиям из композиционного материала [2].

Формоизменение листовой заготовки при обтяжке происходит вследствие развития очага пластической деформации с утонением по толщине. Однако, после окончания процесса деформации и снятия нагрузки, остаточные упругие деформации приводят к тому, что форма поверхности оболочки отличается от формы поверхности обтяжного пуансона, в результате чего существенно понижается точность изготовления детали. Для анализа упругой разгрузки оболочки двойной кривизны необходимо ввести следующие допущения:

1. Остаточное напряженно-деформированное состояние элементов оболочки может быть определено в рамках линейной теории тонких упругих оболочек [3];
2. Оболочка двойной кривизны при разгрузке испытывает осесимметричный изгиб относительно центрального сечения [4];
3. Процесс деформации происходит в рамках моментного напряженного состояния.

Аналитический расчет пружинения листовых оболочек основан на гипотезах Кирхгофа-Лява. Предполагается, что слои, эквидистантные по отношению к срединному слою, не испытывают нормальных сил взаимодействия. В результате внутренние напряжения представляются в виде функций двух криволинейных параметрических координат  $\alpha$  и  $\beta$ , используя срединную поверхность элемента [5].

В результате решения системы уравнений равновесия и пластичности в рамках моментного напряженного состояния получено уравнение, которое определяет минимальную деформацию растяжения заготовки при обтяжке оболочки без пружинения. В данную формулу в качестве переменных входят геометрические параметры оболочки и механические свойства материала, а напряжения не учитываются.

Пружинение оказывает значительное влияние на точность получения обтяжкой готовых изделий, особенно при малых степенях деформации. При этом наименьшее изменение кривизны оболочки будет тогда, когда заготовка по всему сечению

деформируется равномерно и за пределом текучести. В этом случае изменение кривизны происходит только за счет упрочнения металла. Необходимое усилие растяжения в зависимости от последовательности приложения внешних нагрузок может быть установлено исходя из прочности материала в конце процесса обтяжки.

### **Библиографический список**

1. Барвинок, В.А., Сборочные, монтажные и испытательные процессы в производстве летательных аппаратов: Учебник для студентов высших технических заведений [Текст] В.А. Барвинок, В.И. Богданович, П.А. Бордаков, Б.П. Пешков, И.Н. Желтов, И.А. Докукина. – М.: Машиностроение, 1996. – 576 с.
2. Михеев, В.А., Совершенствование процессов формообразования обтяжкой оболочек двойной кривизны [Текст] / В.А. Михеев, А.Ф. Гречникова, А.А. Кузина // Известия Самарского научного центра Российской академии наук, 2011. – Т.13, №4 (42). - С. 217 – 224.
3. Гольденвейзер, А. Л. Теория упругих тонких оболочек [Текст]. М.: Наука, 1976. 512 с.
4. Филин, А.П. Элементы теории оболочек [Текст] / А.П. Филин. – Л.: Стройиздат. Ленингр. отд-ние, 1987. – 384 с.
5. Новожилов, В.В. Теория тонких оболочек [Текст] Л.: Судпромгиз, 1962. 431 с.