

УДК 621.7

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ТЕРМОФИКСАЦИИ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ДЕТАЛЕЙ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ ИЗ ТИТАНОВОГО СПЛАВА ОТ4-1

© Косолапова А.Ю., Кузнецов А.С.

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

e-mail: nastas941104@mail.ru

Важнейшей задачей современной промышленности являются создание новых ресурсосберегающих технологий, повышение производительности труда и качества продукции. Совершенствование конструкций изделий определяет применение высокопрочных материалов и изготовление деталей и узлов со специальными характеристиками, зависящими от условий эксплуатации.

В настоящее время титановые сплавы прочно заняли ведущее место среди других высокопрочных конструкционных материалов. Многие детали современного самолета, ракеты, авиационного двигателя изготавливаются горячей листовой штамповкой из сплава ОТ4-1 [1; 2], позволяющего создавать прочные и жесткие, но легкие по массе конструкции при небольшом расходе материала. Существенным недостатком штамповки сплава являются коробление и гофрообразование деталей, особенно проявляющиеся на тонкостенных изделиях [3]. К числу наиболее перспективных технологических процессов, направленных на совершенствование современного производства, относится применение метода термофиксации, который позволит избежать коробления, т. е. технологический процесс, позволяющий значительно уменьшить количество брака.

Главным условием, определяющим выбор материала для изготовления оснастки термофиксатора, является коэффициент линейного расширения при нагреве, который должен превышать коэффициент линейного расширения детали (у сплава ОТ4-1 он равен  $9 \cdot 10^{-6} 1/град$ ) в 1,5–2 раза. В исследуемом случае используется сталь 12Х18Н10Т с коэффициентом линейного расширения  $17 \cdot 10^{-6} 1/град$  для получения детали «Чашка».

Возникшее после горячей штамповки коробление в виде прогиба и гофрообразования проявилось в плоской части. В решении задачи при использовании программного продукта Ansys/LS-Dyna использован оболочечный конечный элемент SHELL 163 с 4 узлами, возможностью изгиба и пружинения, заданы его константы, свойства материала заготовки и оснастки, ограничения степеней свободы (на перемещение): Shearfactor = 0,83 – фактор, влияющий на тип математического анализа при постановке задачи; No. ofintegrationpts. = 5 – количество «узлов» по толщине для SHELL 163 элемента; Thickness at node = 0,0062 – толщина в узле. При моделировании процесса предусмотрены зазоры между заготовкой и частью термофиксатора, расположенной противоположно оправке. На одном из участков происходит свободное перемещение верхней части оснастки. На следующем контролируемом участке она контактирует с заготовкой. Затем верхняя часть оснастки и заготовка перемещаются совместно до полного контакта с нижней частью термофиксатора. На рабочем участке происходит нагрев с расширением верхней половины термофиксатора.

Таким образом, адекватная математическая модель позволяет спрогнозировать развитие и деградацию системы, оценить ее работоспособность и живучесть в заданных

условиях, проверить гипотезы о причинах наблюдаемых явлений и нежелательных изменений состояния системы [4].

Наличие дефектов при использовании операции термофиксации возможно определить полученными результатами моделирования [5; 6] по распределению остаточных напряжений и деформаций после остывания заготовки до 20 °С.

Установлено, что в математической модели процесса термофиксации при использовании нулевого зазора и зазора равного  $0,2 \cdot 10^{-3}$  м наблюдались наибольшие неравномерные остаточные интенсивности напряжений и деформаций после полного остывания до  $T=20$  °С. При зазоре между заготовкой и инструментом, равном  $0,1 \cdot 10^{-3}$  м, напряжения и деформации оказались наименьшими и близкими по величине. Следовательно, при изготовлении термофиксатора зазор необходимо выполнить таковым с целью устранения коробления и гофрообразования детали чашка.

### Библиографический список

1. Methods and Algorithms for Computer-aided Engineering of Die Tooling of Compressor Blades from Titanium Alloy Khaimovich, A.I., Khaimovich, I.N. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2018, 302(1), 012062.

2. Штрикман М.М., Коледенков А.С., Егоров А.В., Егоров В.Н. О снижении остаточных напряжений в сварных соединениях листовых конструкций из титановых сплавов // Авиационная промышленность. 2019. № 1. С. 57–62.

3. Пат. 2525961 Российская Федерация, МПК В21D 3/16 Способ изготовления штамповок лопаток из двухфазного титанового сплава/ Андреев В.В., Быстров В.Б., Казаков Р.А.; патентообладатель Открытое акционерное общество «Научно-производственное объединение «Сатурн». № 2013120573/02; заявл.06.05.2013; опубл.20.08.2014, бюл. 23.

4. Ларин С.Н., Яковлев С.С., Платонов В.И., Леонова Е.В. Штамповая оснастка для изотермической пневмоформовки листовых высокопрочных материалов в режиме кратковременной ползучести // Известия ТулГУ. Технические науки. 2014. № 11. С. 124–125.

5. Колесников А.В., Мироненко В.В., Чеславская А.А., Шмаков А.К. Оптимизация технологических процессов изготовления деталей из листа средствами виртуального технологического моделирования // ВЕСТНИК ИРГТУ. 2013. № 12. С. 73–77.

6. Computer-aided engineering of the process of injection molding articles made of composite materials Khaimovich, I.N., Khaimovich, A.I. Key Engineering Materials, 2017, 746 KEM. P. 269–274.