УДК 621.438.002.2

Тітов В.А. д.т.н., проф.[1], Бень А.М., асп.[2]
1- КПІ ім. Ігоря Сікорського, м. Київ, Україна, e-mail: vat.kpi@gmail.com
2- Запорізький національний технічний університет, м. Запоріжжя, Україна, e-mail: benanna1985@gmail.com

КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИДАВЛЮВАННЯ ЗАГОТОВОК КОМПРЕСОРНИХ ЛОПАТОК З ВИКОРИСТАННЯМ ПРОГРАМНОГО ПАКЕТУ QFORM 2D/3D

До компресорних лопаток висуваються особливі вимоги за структурою матеріалу, його хімічним складом, механічним властивостям, геометричним розмірам, а особливо виключенням дефектів при виготовленні. При їхньому виготовленні методом видавлювання спостерігаються наступні дефекти: виникнення заковів, прес-утяжини та несуцільності матеріалу, які надалі можуть потрапляти в тіло лопатки та призводити до зниження характеристик міцності. На виникнення дефектів впливають технологічні параметри виготовлення заготовки лопатки: швидкість деформації, температура, тертя на контактній поверхні та геометричні розміри деталі. [1-2]

Для забезпечення конкурентоспроможності необхідний комплексний підхід в проектуванні процесу виробництва. Сучасні системи моделювання дозволяють значно скоротити витрати та час розробки нового оснащення за рахунок віртуального моделювання процесу штампування, без виготовлення оснащення та завантаження ковальсько-пресового обладнання.

В даній роботі проведено чисельне моделювання процесу видавлювання заготовок компресорних лопаток авіаційних двигунів із вирішенням задач пластичного деформування, порівняння результатів моделювання із фактичними результатами видавлювання.

В якості системи моделювання процесів використовується програма QForm 2D/3D, за допомогою якої можна варіювати різними параметрами процесу деформування. [3-4]

Завдання параметрів моделювання. Процес видавлювання заготовки компресорної лопатки моделювався за фактичними розмірами лопатки та штампового оснащення.

На першому етапі було створено моделі штампового оснащення – пуансону і матриці. Після цього в додатку QShape на інструменті та заготовці було нанесено сітку кінцевих елементів. (рис. 1)



а б в

Рис. 1. Нанесення сітки методом кінцевих елементів:
а – пуансон, б – заготовка для видавлювання, в – матриця у зборі

В результаті розрахунків отримано дані щодо заповнення гравюри штампу та зонам затрудненого плину металу із наявністю дефектів. На рис. 3 представлено розподіл швидкостей плину металу, на основі аналізу яких зразок можна умовно розділити на чотири зони (рис. 2, в).



а б в

Рис. 2. Розподіл швидкостей плину металу на поверхні:
а – ізолінії вектору швидкостей, б – ізолінії вектору швидкостей матеріальних часток вздовж осі пера лопатки, в – характерні зони плину металу

На зразку 1 та 3 зони є зонами затрудненого плину металу, так як у зоні 1 відбувається контакт металу заготовки із пуансоном. В 4 зоні спостерігається застій металу через конструктивні особливості деталі. Інтенсивний плин металу спостерігається в зоні 2. Метал тече в порожнину матриці, де відбувається формування пера лопатки. Тут спостерігається 4 зона сталого плину металу.

Розподіл середніх напружень заготовки в процесі деформування показано на рис. 3.



а б

Рис. 3. Розподіл середніх напружень: а – ізолінії середніх напружень, б – ізолінії вектору середніх напружень вздовж осі пера лопатки

Аналіз показує, що напруження в ході деформації змінюють свій знак. У прес-залишку, де пуансон діє на заготовку спостерігається інтенсивне напруження стиску, яке по мірі просування до пера лопатки зменшується. У сформованому пері заготовки компресорної лопатки спостерігається поступове зростання довжини пера, яке супроводжується напруженням розтягання.

Експериментальне дослідження процесу видавлювання заготовки компресорної лопатки. Для перевірки результатів комп'ютерного моделювання процесу видавлювання заготовок компресорних лопаток за допомогою програмного пакету QForm було проведено експериментальне дослідження на установці для серійного виробництва. Отримано серію заготовок із поступовим збільшенням довжини пера лопатки, які свідчать про повне заповнення гравюри штампу та відсутність заковів і тріщин на тілі деталі, при цьому контур деталі відповідає розрахунковому. (рис.4)

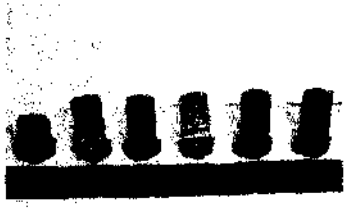

Рис. 4. Заготовки компресорних лопаток, отримані із поступовим збільшенням довжини пера

Перед видавлюванням на бічну поверхню заготовки було нанесено горизонтальні лінії (рис.5) для того, щоб оцінити характер плину металу. На отриманій заготовці чітко видно характерні зони застою металу, такі самі, як і при комп'ютерному моделюванні (рис. 6).

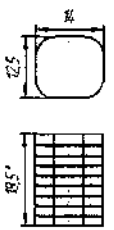

Рис. 5. Схема заготовки під видавлювання



Рис. 6. Видавлена заготовка компресорної лопатки

Висновки. Проведено якісне порівняння отриманих поковок із результатами комп'ютерного моделювання процесу видавлювання.

Комп'ютерне моделювання процесу видавлювання заготовки компресорної лопатки показало добру відповідність форми видавленої заготовки, яку отримано розрахунковим шляхом, зовнішній формі реальної заготовки, заповнення порожнини матриці, а також місця виникнення дефектів. Показано користь використання застосованих технологій для моделювання процесу деформації та виготовлення штампового оснащення.

Список використаних джерел:

1. Точная горячая штамповка деталей ГТД / [Богуслаев В.А., Кресанов Ю.С., Качан А.Я. и др.]; под ред. В.А. Богуслаева. – Запорожье, 2017. – 563 с.
2. Технологічна механіка забезпечення міцності та якості деталей пластичним деформуванням / [Тітов В.А., Злочевська Н.К., Качан О.Я. та ін.]. – Київ: КВІЦ, 2016. – 176 с.
3. Гладков Ю.А. Моделирование технологических процессов штамповки при решении задач авиа- и двигателестроения / Гладков Ю.А., Мордвинцев П.С. // КШП ОМД. – 2012. - №15. – С. 38-47.
4. Мамаев М.В. Исследование процесса выдавливания и его технологических параметров при изготовлении заготовок лопаток ГТД [Электронный ресурс] // Повышение эффективности производства деталей авиадвигателей с применением программы QForm: Электронный сб. тр. Семинара (24 сентября 2009 г.). М., 2009.
http://seminar.qform3d.ru/db_files/articles/28/presentation.zip