

## АВТОМАТИЗАЦИЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОПТИМАЛЬНОГО УГЛА ПОВОРОТА ПОКОВКИ В ШТАМПЕ НА ОСНОВЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ

© 2020 Зайнуллин Р. Ш.

Самарский университет, г. Самара, Россия

Настоящая статья посвящена определению оптимального угла поворота поковки компрессорной лопатки в штампе для минимизации сдвигающих усилий. Была разработана математическая модель нахождения оптимального угла поворота, показаны результаты использования метода оптимизации Нелдера-Мида для конкретной компрессорной лопатки.

Ключевые слова: математическая модель, компрессорная лопатка, штамп, целевая функция, система ограничений.

Важной задачей при проектировании обжимных штампов является выбор угла поворота поковки ( $T\alpha\gamma_3$ ) относительно опорных поверхностей штампов [1-3]. Назначение оптимального угла ( $T\alpha\gamma_3$ ) позволяет:

- 1) уменьшить сдвигающиеся горизонтальные усилия на обе половины штампа, повысив за счет этого точность размеров поковки;
- 2) облегчить заполнение гравюры штампа и повысить его стойкость;
- 3) создать условия для надежной укладки заготовки в штамп перед ее деформацией;
- 4) создать базы контроля размеров поковки на торце хвостовика и снизить расход металла на штамповочные уклоны.

Для решения поставленной задачи необходимо использовать целевую функцию, которая имеет вид:

$$A+B+C \rightarrow \min,$$

где  $A$  - сдвигающее усилие на поверхности пера,

$B$  - сдвигающее усилие на участке замка,

$C$  - усилия, действующие на поверхность мостика.

Также для целевой функции была определена система ограничений:

$$\Omega \begin{cases} 4 \leq \frac{b}{MOST} \leq 6 \\ \arcsin \frac{c1 - a2}{cakp} \leq \varphi_1 \leq \arcsin \frac{c2 - a1}{cakp}, \\ -90 \leq T\alpha\gamma_3 \leq 90 \end{cases}$$

где  $c1$ ,  $сакр$ ,  $a2$ ,  $c2$ ,  $a1$ ,  $b$ ,  $most$  - геометрические параметры поковки компрессорной лопатки.

Применим к данной математической модели, состоящей из целевой функции и системы ограничений, комплексный метод оптимизации Нелдера - Мида. Для использования метода оптимизации необходимо использовать специальные программные математические пакеты [4, 5].

Используя разработанные методы были получены результаты (табл. 1) для трех заготовок компрессорных лопаток: оптимальный угол поворота поковки в штампе, угол поворота и ширина облойного мостика на торце хвостовика.

Таблица 1 – Результаты использования алгоритма оптимизации для заготовок компрессорных лопаток

№ изделия	b/h	$\varphi_1$ , град.	$T\alpha\gamma_3$ , град.	Целевая функция
1	5.14	2.67	-8.20	0.07
2	5.99	0.53	-5.34	0.02
3	5.20	5.85	-7.98	0.09

Исходя из таблицы 1 следует, что значения  $TAУЗ$ ,  $b/h$ ,  $\varphi$  для каждой заготовки определяют оптимальное расположение поковки, которая, в свою очередь, позволяет уменьшить сдвигающие усилия на обе половины штампа и повысить стойкость

штампа для изготовления компрессорных лопаток авиационного двигателя. Но самое главное, благодаря этому снизится расход металла на штамповочные уклоны.

### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Глухов С.В., Хавлин Т.В., Михайлов А.Н., Михайлов Д.А., Михайлов В.А. Последовательность и составляющие общего процесса разработки метода повышения ресурса лопаток турбин газотурбинных двигателей//Прогрессивные технологии и системы машиностроения. - 2019. - № 1 (64). - С. 93-104.
2. Гречников Ф.В., Ненашев В.Ю., Хаймович И.Н. Управление технологической подготовкой производства компрессорных лопаток на основе интегрирования автоматизированного проектирования и инженерного анализа//Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением. - 2008. - № 6. - С. 42-46.
3. Иващенко А.В., Нечитайло А.А., Ковалькова Е.А., Хаймович И.Н. Организация штамповочного производства при определении области компромисса // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. - 2018. - Т. 20. - № 6 (86). - С. 47-52.
4. Хаймович И.Н. Автоматизация проектирования объектов заготовительно-штамповочного производства компрессорных лопаток авиационных двигателей//Известия высших учебных заведений. Авиационная техника. - 2014. - № 2. - С. 44-48.
5. Хаймович И.Н. Разработка методики оптимизации параметров штампов компрессорных лопаток авиационных двигателей // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. - 2014. - Т. 16. - № 4. - С. 214-219.

### AUTOMATION OF DETERMINATION OF THE OPTIMUM LAUNCHING ANGLE OF THE FORGING IN TERMS OF A MATHEMATICAL MODEL

© 2020 R. S. Zainullin

Samara University, Russia, Samara

This article is devoted to determining the optimal launching angle of a compressor blade forging in a die to minimize shear forces. The author has developed a mathematical model for finding the optimal rotation angle, and showed the results of using the Nelder-Mead optimization method for a specific compressor blade.

Key words: mathematical model, compressor blade, stamp, objective function, system of restrictions.