

ФОРМИРОВАНИЕ ПОСТРОЕНИЯ ЛИНИИ РАЗЪЕМОВ ШТАМПОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

© 2020 Петров А.А.¹, Хаймович И.Н.^{1,2}

¹Самарский университет, Россия, г. Самара

²Самарский университет государственного управления
«Международный институт рынка», г. Самара, Россия

Разработаны алгоритмы расчета конструкции заготовки и штампового оснащения для производства компрессорных лопаток авиационных двигателей из титановых сплавов. Предложенная система проектирования позволяет автоматически формировать чертежи обрезаемых и обжимных штампов, что приводит к значительному сокращению времени технологической подготовки производства. Проведен подробный анализ особенностей конструктивных элементов лопатки. В результате была получена обобщенная математическая модель окончательного штампа в виде трехмерного массива базовых точек, соединенных ребрами в виде прямых или сплайнов. Она может служить основой для создания конструкторской документации технологической оснастки и средств ее контроля.

Ключевые слова: система автоматизированного проектирования, обрезаемые и обжимные штампы, компрессорные лопатки, авиационные двигатели, обобщенные математические модели.

В настоящее время значительная номенклатура заготовок компрессорных лопаток газотурбинных двигателей (ГТД) из титановых сплавов изготавливается путем горячей штамповки. Как показала практика, несмотря на значительный (более 1 мм) припуск по профильным поверхностям, этот традиционный метод имеет ряд конкурентных преимуществ по сравнению с технологическими процессами обработки давлением, обеспечивающими минимальные припуски (изотермическая штамповка, высокоскоростная штамповка, вальцовка). Преимущества заключаются в более высокой производительности и стойкости штамповой оснастки, возможности использования унифицированной поковки для ряда типоразмеров лопаток [1-5].

Известно, что проектирование 3D-моделей обжимного и обрубного штампов для объемной штамповки лопаток представляет собой не до конца формализованный процесс, который в зависимости от применяемой практики на производстве во многом определяется опытом конструктора и технолога и не всегда поддается автоматизации. В этой связи целью настоящей работы являлось обобщение опыта разработки системы автоматического проектирования (САПР) штамповой оснастки, которая реализовывала бы сбалансированный подход к сочетанию формализованного автоматизированного процесса определения геометрии

штампа с возможностями его интерактивной коррекции на основе производственного опыта и оптимизации геометрии, например, средствами САЕ-систем (Deform 3D, Qantorform) [6-10]. Система состоит из трех последовательных расчетных блоков: разработки штампованной поковки; расчета обобщенной математической модели (ОММ) окончательного обжимного штампа; проектирования технологической оснастки 2-го рода (контрольных шаблонов). Первый блок предусматривает создание типового чертежа поковки без 3D-модели с возможностью вывода на бумажный носитель. Такое представление результатов расчета позволяет, не нарушая традиций предприятий, провести согласование формы и размеров поковки со всеми заинтересованными службами и производствами. В целях повышения универсальности программы значения припусков на все поверхности лопатки не связаны с нормативными документами, которые заметно отличаются на различных предприятиях. Поэтому припуски могут меняться в широких пределах и задаются пользователем в исходных данных. Необходимые габаритные размеры и координаты точек сечения пера вводятся с конструкторского чертежа лопатки в ручном и автоматическом режимах. Для повышения наглядности и уменьшения субъективных ошибок в системе предусмотрена серия слайдов. Назначение припусков, штамповочных

уклонов, технологического прилива (бобышки), а также создание чертежа поковки со всеми размерами выполняются автоматически. Полученные размеры конструкции поковки в автоматическом режиме передаются в блок расчета ОММ окончательного штампа. В САПР предусмотрен блок контроля ввода, который позволяет применить ручной ввод, исключив блок проектирования поковки, изменить любой поковочный размер после автоматического ввода, а также дополнительно ввести недостающие параметры.

По результатам практики использования системы и ее технической апробации можно выделить несколько ключевых моментов, касающихся процессов формализованного определения геометрии штампа и построения его ОММ.

1. Выбор геометрии мостика заусеничной канавки по кромкам пера. В рассматриваемой системе его форма принята в виде естественного продолжения профиля в каждом сечении. В этом случае мостик является сужающимся и не имеет резких перегибов по границе с поковкой, что повышает стойкость штампа. Ширина мостика и его конечная толщина являются переменными и задаются в ручном режиме.

2. Решение задачи по выбору линии разреза штампов вокруг хвостовика лопатки и технологического прилива (бобышки), которая является наиболее сложной и многовариантной. Анализ большой номенклатуры поковок показал, что в зависимости от конструкции лопатки можно выделить три основных варианта пересечения пера с трактовой поверхностью хвостовика. Разработаны алгоритмы и программы для реализации каждого из них. Штамповочный уклон в нижнем вкладыше по торцу хвостовика со стороны выходной кромки пера принимается всегда постоянным (ALNEY). Для контроля смещения штампов в поперечном направлении штамповочный уклон в верхнем вкладыше принимается повышенным. Здесь и далее все профильные поверхности и поверхности разреза штампов рассчитываются с учетом «горячих» размеров поковок, которые оцениваются с помощью коэффициента линейного расширения в диапазоне ковочных температур.

Принятый подход формирования поверхности пера в штампе состоит в определении параметров и контуров профилей нескольких

базовых сечений, построении на их основе упрощенной модели поверхности пера штампа и восстановлении с ее помощью необходимых промежуточных сечений. За основу принята схема построения профиля пера с формированием кромок. Положение места обрезки заусенца по кромке определяют прямая a , перпендикулярная оси штампа, и заданный припуск ZKP. На линии b происходит резкий перегиб профиля пера в плоскость разреза штампов — это наиболее изнашиваемый его участок. Для уменьшения его влияния на искажение профиля сечения пера напуск TEX может быть значительно больше припуска по кромкам ZKP. В этом случае напуск выполняет роль облойного мостика.

Рассмотрим построение профилей пера лопатки и поковки с использованием информационных технологий. Исходными данными является готовый чертеж лопатки компрессорного авиационного двигателя. После разбития пера на сечения и с помощью программы «Компас-3D v16.1» и операции «сетка» строим сечения готовой лопатки (табл 1), где X_c , X_u — координаты спинки, X_k , U_k — координаты корыта.

Таблица 1 – Координаты готовой лопатки

X_c	U_c	X_k	U_k
-42,62	-12,49	-42,39	-13,45
-39,65	-11,16	-39,38	-12,3
-35,68	-9,43	-35,36	-10,8
-30,2	-7,15	-29,81	-8,79
-22,68	-4,22	-22,22	-6,16
-15,11	-1,5	-14,59	-3,67
-7,49	1,03	-6,93	-1,3
0,19	3,36	0,77	0,94
7,92	5,49	8,5	3,05
15,7	7,42	16,27	5,03
23,64	9,16	24,09	6,89
31,43	10,71	31,94	8,61
39,38	12,07	39,83	10,2
47,39	13,23	47,77	11,66
53,3	13,96	53,63	12,64
57,62	14,43	57,9	13,31
60,87	14,75	61,11	13,79

После этого, посчитав припуск и другие технологические параметры процесса, полу-

чаем точки координат проектируемой заготовки (табл. 2).

Таблица 2 – Координаты пера заготовки

Хс	Ус	Хк	Ук
-51,42	-6,36	-50,59	-9,67
-48,55	-5,18	-47,66	-9,08
-45,68	-4,05	-44,77	-8,54
-41,83	-2,63	-40,92	-7,89
-36,56	-0,84	-35,63	-7,04
-29,29	1,3	-28,39	-6
-22,01	3,08	-21,12	-5,05
-14,71	4,53	-13,86	-4,19
-7,38	5,66	-6,59	-3,43
-0,03	6,45	0,69	-2,75
7,35	6,94	7,99	-2,16
14,75	7,08	15,29	-1,64
22,2	6,93	22,58	-1,2
29,66	6,45	29,96	-0,95
37,16	5,66	37,28	-0,58
42,69	4,88	42,68	-0,45
46,72	4,18	46,61	-0,38
49,83	3,59	49,55	-0,35
52,42	2,93	52,06	-0,33

Построение сечения заготовки пера происходит в программе «Компас-3D v16,1». Используя операцию «Сплайн по точкам», получаем штамповочную заготовку.

Рассмотрим формирование поверхности разъема вокруг технологической бобышки. Бобышка располагается за пределами рабочей части пера. Для упрощения конструкции штампов разъем вокруг бобышки часто делают плоским. Однако в этом случае необходимо применять вертикальный (ступенчатый) разъем при переходе от пера к бобышке, а он, как указано выше, имеет серьезные недостатки. При разработке САПР штампов предложено и реализовано другое решение формирования поверхности разъема. Суть его заключается в том, что профиль верхнего сечения пера продолжается в область бобышки. При таком подходе разъем штампов будет криволинейным, а его выход на боковые поверхности бобышки будет зависеть от угла закрутки верхнего сечения пера. Для получения расчетных размеров мостика заусеничной канавки предусматривается

уменьшение толщины пера вокруг бобышки за счет спинки или корыта. Выбор соответствующего варианта зависит от размера, который определяет площадку базы контроля поковки. Принято следующее: если $l_1 \leq 0,4K$ (где K — толщина бобышки), то уменьшение толщины пера выполняется за счет спинки, расположенной в нижнем вкладыше; если $l_1 > 0,4K$, то профиль спинки остается неизменным.

Необходимая толщина MOST создается за счет изменения профиля корыта, который строится эквидистантно профилю спинки. Для максимального совмещения кромок обрезки заусенца предусмотрена возможность небольшого уменьшения ширины бобышки (C) на величину $l \leq 2$ мм. Для реализации всех описанных условий и ограничений разработаны соответствующие алгоритмы и программные средства. В случае криволинейного разъема штампов (формирования поверхности бобышки за счет продления пера) его выход на боковые поверхности бобышки зависит от угла закрутки верхнего сечения пера. Для повышения качества обрезки заусенца предусматривается уменьшение толщины пера вокруг этого конструктивного элемента за счет усечения профиля со стороны спинки или корыта. Если площадь базы контроля поковки на бобышке недостаточна, то уменьшение толщины пера выполняется за счет спинки. Тогда профиль корыта без дополнительной закрутки продляется на всю бобышку, а профиль спинки строится эквидистантно на расстоянии MOST.

Анализ особенностей конструктивных элементов лопатки, принятые ограничения и технологические решения позволили сформировать поверхность разъема штампов по всему контуру гравюры. Разработаны алгоритмы и программы расчета трехмерных координат точек, описывающих конфигурацию полости штампа, базовых поверхностей для установки контрольных шаблонов, форму и габаритные размеры верхнего и нижнего вкладышей штампа. В результате была получена обобщенная математическая модель (ОММ) окончательного штампа в виде трехмерного массива базовых точек, соединенных ребрами в виде прямых или сплайнов. Эта ОММ является основой для созда-

ния конструкторской документации технологической оснастки и средств ее контроля. Разработан модуль программы автоматического построения модели окончательного обжимного штампа. Она состоит из набора каркасно-заданных поверхностей, описывающих 3D-геометрию нижнего и верхнего вкладышей штампа. Модель может быть экспортирована в другие CAD\CAM- или CAE-системы для дальнейшего технологического анализа или создания управляющих программ для обработки штампов на станках с ЧПУ. Разработан модуль программы автоматического построения модели обрезаемого штампа. Его режущая кромка формируется из точек ОММ, описывающих контур полосы в нижнем вкладыше.

Модуль проектирования технологической оснастки позволяет автоматически сформировать типовой чертеж окончательного штампа с переносом его на бумажный носитель. Для слесарной доводки штампа и его восстановления предусматривается создание комплекта чертежей контрольных шаблонов, исполнительные размеры которых получены из расчета точек пересечения плоскостей, имитирующих кромку шаблона, с поверхностями ОММ. Таким образом, разработанная структура ОММ является универсальной базой для проектирования технологической оснастки и независимого представления полученных конструкций в виде чертежей и объемных моделей.

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. Махитко В.П., Хаймович И.Н., Клентак А.С. Имитационное моделирование в мелкосерийном производстве// Вестник Самарского муниципального института управления. - 2019. - № 3. - С. 17-25.
5. Хаймович И.Н. Автоматизация проектирования объектов заготовительно-штамповочного производства компрессорных лопаток авиационных двигателей//Известия высших учебных заведений. Авиационная техника. - 2014. - № 2. - С. 44-48.
6. 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.
7. Хаймович И.Н., Морозова К.С. Применение кубических сглаживающих сплайнов для формирования гладкого профиля пера поволоков компрессорных лопаток// Вестник Международного института рынка. - 2020. - № 1. - С. 136-140.
8. Хаймович И.Н., Елистратов Д.А. Исследование стойкости открытого молотового штампа с расширяющимся мостиком с использованием информационных технологий// Вестник Международного института рынка. - 2020. - № 1. - С. 121-125.
9. Хаймович И.Н., Ковалькова Е.А., Мешков А.А. Оценка конкурентоспособности компрессорных лопаток на основе функции качества// Вестник Международного института рынка. - 2017. - № 1. - С. 154-159.
10. Хамидулин Н.Д., Хаймович И.Н. Модели и методы построения информационных систем для конструкторско-технологической подготовки производства при ограничениях на ресур-

FORMATION OF DIE LINE USING INFORMATION TECHNOLOGIES

© 2020 A.A. Petrov ¹, Irina N. Khaimovich ^{1,2}

¹Samara University, Russia, Samara

²Samara University of Public Administration

"International Market Institute", Samara, Russia

The article deals with algorithms for calculating the workpiece design and die equipment for the production of compressor blades of aircraft engines from titanium design alloys. The proposed design system makes it possible to automatically generate drawings of edging and crimping dies, which leads to a significant reduction in the technological production preparation time. The authors carried out the detailed analysis of the features of the structural elements of the blade. As a result, a generalized mathematical model of the final stamp was obtained in the form of a three-dimensional array of base points connected by edges in the form of straight lines or splines. It can serve as a basis for creating design documentation for technological equipment and means of its control.

Key words: computer-aided design system, edging and crimping dies, compressor blades, aircraft engines, generalized mathematical models.